

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-72837  
(P2002-72837A)

(43) 公開日 平成14年3月12日 (2002.3.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 3 H 1/26

識別記号

F I

C 0 3 H 1/26

データベース\* (参考)

2 K 0 0 8

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-265042(P2000-265042)

(22) 出願日 平成12年9月1日 (2000.9.1)

(71) 出願人 000002897

大日本印刷株式会社

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号

(72) 発明者 北村 満

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号

大日本印刷株式会社内

(72) 発明者 浜野 智恒

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号

大日本印刷株式会社内

(74) 代理人 100091476

弁理士 志村 浩

Fターム(参考) 2K008 CC01 CC03 DD02 DD03 EE01

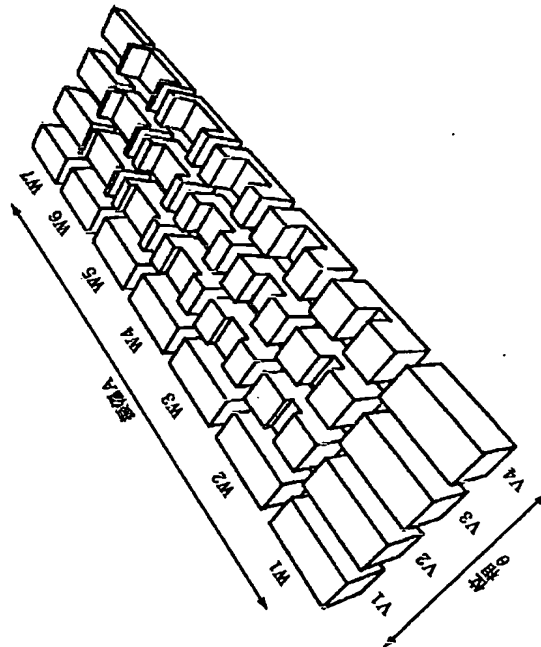
EE04 FF27 HH01

(54) 【発明の名称】 光学素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 再生時に高い回折効率を得ることができ、生産性に優れたホログラムを提供する。

【解決手段】 コンピュータを用いて、任意の物体像と、所定ピッチで代表点が配置された記録面とを定義する。個々の代表点位置において、物体像から発せられた物体光の波面に関する複素振幅を計算し、記録面上に複素振幅分布を求める。この複素振幅分布を、一面に溝をもった三次元セルにより表現する。位相 $\theta$ に応じて4通りの溝の深さを定義し、振幅Aに応じて7通りの溝の幅を定義することにより、合計28通りの三次元セルを用意し、個々の代表点位置に、当該代表点についての複素振幅の位相 $\theta$ および振幅Aに応じた三次元セルを配置する。記録面上の各代表点位置に、28通りの三次元セルのいずれかを配置することにより、三次元セルの集合体としてホログラム記録媒体を形成する。各セルの溝部の位相/振幅変調機能により、再生像が得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の三次元セルの集合からなる光学素子であって、

個々のセルには、それぞれ特定振幅および特定位相が定義されており、

個々のセルに所定の入射光を与えると、当該セルに定義された特定振幅および特定位相に応じて前記入射光の振幅および位相を変化させた射出光が得られるように、個々のセルがそれぞれ特定の光学的特性を有していることを特徴とする光学素子。

【請求項2】 請求項1に記載の光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた透過率をもった振幅変調部を有することを特徴とする光学素子。

【請求項3】 請求項1に記載の光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた反射率をもった振幅変調部を有することを特徴とする光学素子。

【請求項4】 請求項1に記載の光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた有効面積をもった振幅変調部を有することを特徴とする光学素子。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかに記載の光学素子において、

個々のセルが、それぞれ特定位相に応じた屈折率をもった位相変調部を有することを特徴とする光学素子。

【請求項6】 請求項1～4のいずれかに記載の光学素子において、

個々のセルが、それぞれ特定位相に応じた光路長をもった位相変調部を有することを特徴とする光学素子。

【請求項7】 請求項1に記載の光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた深さだけ掘り下げることににより形成された凹部を有することを特徴とする光学素子。

【請求項8】 請求項1に記載の光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた高さだけ隆起させることににより形成された凸部を有することを特徴とする光学素子。

【請求項9】 請求項7または8に記載の光学素子において、

個々のセルの凹部もしくは凸部が形成された面が反射面となっており、セルに与えられた入射光がこの反射面によって反射することにより射出光となることを特徴とする光学素子。

【請求項10】 請求項7または8に記載の光学素子において、

個々のセルが、凹部もしくは凸部を有する本体層と、この本体層の凹部もしくは凸部が形成された面を覆う保護層と、を備え、前記本体層と前記保護層とが互いに異なる材質から構成されていることを特徴とする光学素子。

【請求項11】 請求項10に記載の光学素子において、

本体層と保護層とが互いに異なる屈折率をもった透光性

材料から構成されており、セルに与えられた入射光が、前記本体層および前記保護層を通過することにより射出光となることを特徴とする光学素子。

【請求項12】 請求項10に記載の光学素子において、

本体層と保護層との境界が反射面を形成し、セルに与えられた入射光が、前記反射面によって反射することにより射出光となることを特徴とする光学素子。

【請求項13】 請求項1～12のいずれかに記載の光学素子において、

個々のセルが一次元的もしくは二次元的に配列されていることを特徴とする光学素子。

【請求項14】 請求項13に記載の光学素子において、

個々のセルの縦方向のピッチおよび横方向のピッチがそれぞれ等ピッチとなるように配列されていることを特徴とする光学素子。

【請求項15】 請求項1～14のいずれかに記載の光学素子において、

所定の視点位置から観測したときに物体像が再生されるように、当該物体像からの物体光の複素振幅分布が記録されており、ホログラムとして利用することができることを特徴とする光学素子。

【請求項16】 所定の物体像が記録された光学素子を製造する方法であって、

複数の三次元仮想セルの集合を定義するセル定義段階と、

個々の仮想セルについてそれぞれ代表点を定義する代表点定義段階と、

記録すべき物体像を定義する物体像定義段階と、

前記物体像から発せられた物体光の前記各代表点位置における複素振幅を計算することにより、個々の仮想セルに特定振幅および特定位相を定義する振幅位相定義段階と、

個々の仮想セルをそれぞれ実体のある物理セルに置き換え、三次元物理セルの集合からなる光学素子を形成する物理セル形成段階と、

を有し、

前記物理セル形成段階では、個々の物理セルに所定の入射光を与えると、当該物理セルに対応する仮想セルに定義された特定振幅および特定位相に応じて前記入射光の振幅および位相を変化させた射出光が得られるように、それぞれ特定の光学的特性を有する物理セルによって置き換えを行うようにすることを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項17】 請求項16に記載の光学素子の製造方法において、

セル定義段階において、ブロック状の仮想セルを一次元的もしくは二次元的に配列することによりセル集合の定義を行うことを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項18】 請求項16または17に記載の光学素子の製造方法において、  
振幅位相定義段階において、物体像上に複数の点光源を定義し、各点光源から所定振幅および所定位相をもった球面波からなる物体光が発せられたものとし、所定の基準時刻において各代表点位置における各点光源からの物体光の合計複素振幅を計算するようにしたことを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項19】 請求項18に記載の光学素子の製造方法において、  
物体像上に波長 $\lambda$ の物体光を発する $K$ 個の点光源を定義し、第 $k$ 番目( $k=1\sim K$ )の点光源 $O(k)$ から発せられる物体光の振幅を $A_k$ 、位相を $\theta_k$ とし、所定の代表点 $P$ と第 $k$ 番目の点光源 $O(k)$ との距離を $r_k$ としたときに、前記所定の代表点 $P$ における $K$ 個の点光源からの物体光の合計複素振幅を、 $\sum_{(k=1\sim K)} (A_k / r_k \cdot \cos(\theta_k \pm 2\pi r_k / \lambda) + i A_k / r_k \cdot \sin(\theta_k \pm 2\pi r_k / \lambda))$ なる計算によって求めることを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項20】 請求項16～19のいずれかに記載の製造方法において、  
物理セル形成段階において、個々の仮想セルを、特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた深さだけ掘り下げることにより形成される凹部を有する物理セルに置き換えることを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項21】 請求項16～19のいずれかに記載の製造方法において、  
物理セル形成段階において、個々の仮想セルを、特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた高さだけ隆起させることにより形成される凸部を有する物理セルに置き換えることを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項22】 請求項20または21に記載の製造方法において、  
物理セルの凹部に充填された物質もしくは凸部を構成する物質の屈折率を $n_1$ とし、これに接する別な物質の屈折率を $n_2$ とし、物体光の波長を $\lambda$ としたときに、  
凹部の最大深さもしくは凸部の最大高さ $d_{\max}$ を、 $d_{\max} = \lambda / |n_1 - n_2|$ に設定し、  
特定位相 $\theta$ に応じた深さもしくは高さ $d$ を、 $n_1 > n_2$ の場合には、 $d = \lambda \cdot \theta / 2(n_1 - n_2)\pi$ なる計算に基づいて、 $n_1 < n_2$ の場合には、 $d = d_{\max} - \lambda \cdot \theta / 2(n_2 - n_1)\pi$ なる計算に基づいて、それぞれ決定し、  
凹部もしくは凸部を透過してくる透過光によって物体像の再生が行われるようにしたことを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項23】 請求項20または21に記載の製造方法において、

物理セルの凹部に充填された物質もしくは凸部を構成する物質の屈折率を $n$ とし、物体光の波長を $\lambda$ としたときに、

凹部の最大深さもしくは凸部の最大高さ $d_{\max}$ を、 $d_{\max} = \lambda / 2n$ に設定し、

特定位相 $\theta$ に応じた深さもしくは高さ $d$ を、 $d = \lambda \cdot \theta / 4n\pi$ なる計算に基づいて決定し、

凹部もしくは凸部の境界面において反射する反射光によって物体像の再生が行われるようにしたことを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項24】 請求項20～23のいずれかに記載の製造方法において、

特定振幅に応じた面積として複数 $a$ 通りの面積を定義し、特定位相に応じた深さもしくは高さとして複数 $b$ 通りの深さもしくは高さを定義し、合計 $a \times b$ 通りの種類の物理セルを用意しておき、個々の仮想セルを、これらの物理セルのうち、必要とされる光学的特性が最も近い物理セルに置き換えることを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項25】 請求項16～24のいずれかに記載の製造方法において、

再生時に照射される照明光の向きもしくは再生時の視点位置を考慮して、各仮想セルについて定義された特定位相に修正を加える位相修正段階を更に有することを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項26】 請求項16～25のいずれかに記載の製造方法において、

セル定義段階において、仮想セルを水平方向および垂直方向に並べることにより、二次元マトリックス上に配列された仮想セルからなるセル集合の定義を行い、  
振幅位相定義段階において、物体像上に、それぞれが水平方向に伸び、互いに垂直方向に配置された複数 $M$ 個の点光源列を定義するとともに、前記二次元マトリックスにおいて垂直方向に隣接する複数行に所属する仮想セル群を1グループとすることにより合計 $M$ 個のグループを定義し、 $M$ 個の点光源列と $M$ 個のグループとを垂直方向に関する配置順に応じて対応させ、第 $m$ 番目( $m=1\sim M$ )の点光源列内の点光源から発せられた物体光が、第 $m$ 番目のグループに所属する仮想セルにのみ到達するものとして、各代表点位置における合計複素振幅の計算を行うことを特徴とする光学素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学素子およびその製造方法に関し、特に、ホログラムとして立体像を記録し、これを再生することが可能な光学素子およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】立体像を媒体上に記録し、これを再生する方法として、ホログラフィーの技術が古くから知られ

ており、この方法で作成されたホログラムは、観賞用アートや偽造防止用シールなど、様々な分野で利用されている。光学的にホログラムを作成する方法としては、物体から発せられる物体光と参照光との干渉縞を感光性媒体に記録する方法が一般的である。物体光および参照光の光源としては、通常、可干渉性に優れたレーザ光が利用される。一般に、光などの電磁波の挙動は、振幅と位相とをもった波面の伝播として捉えることができ、ホログラムは、このような波面を再生する機能をもった光学素子とすることができる。したがって、ホログラムの記録媒体には、空間のそれぞれの位置における物体光の位相と振幅とを正確に再現するための情報を記録しておく必要がある。感光性媒体上に、物体光と参照光とによって生じる干渉縞を記録すれば、物体光の位相と振幅との双方を含んだ情報を記録することができ、この媒体に参照光と同等の照明再生光を照射することにより、この照明再生光の一部が物体光と等価な波面をもった光として観測できる。

【0003】このように、レーザ光などを用いた光学的な方法でホログラムを作成する場合、物体光の位相と振幅は、参照光との干渉縞としてしか記録することはできない。これは、ホログラムを記録する感光性媒体が、光の強度に応じて感光する特性があるためである。これに対して、最近、コンピュータを用いた演算により、ホログラムを作成する手法も実用化されつつある。この手法は、計算機ホログラム(CGH: Computer Generated Hologram)と呼ばれており、コンピュータを利用して物体光の波面を計算し、その位相と振幅とを何らかの方法で物理的な媒体上に記録することにより、ホログラムの作成が行われる。この計算機ホログラムの手法を用いれば、もちろん、物体光と参照光との干渉縞として像の記録を行うことも可能であるが、参照光を用いずに、物体光の位相と振幅に関する情報を直接記録面に記録することも可能になる。たとえば、記録媒体上に形成した開口部の大きさにより振幅を表し、開口部の位置で位相を表すような記録方式や、媒体を2層の記録層から構成し、一方の記録層に振幅を記録し、もう一方の記録層に位相を記録するような記録方式が提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】光学的なホログラム作成方法として広く行われている干渉縞として像を記録する方法は、一般に、解像度の高い再生像を得ることができ、光学的な方法で実行することができるために生産性が高いというメリットがあるものの、再生時の干渉縞による回折効率が悪いと、像が暗くなるという問題がある。これに対し、計算機ホログラムの一手法として提案されている物体光の位相と振幅とを媒体上に直接記録する方法は、高い回折効率を得ることができるというメリットがあるものの、位相と振幅とを媒体上に記録することが技術的に困難であり、実用上、生産性が低下すると

いう問題がある。

【0005】そこで本発明は、再生時に高い回折効率を得ることができ、しかも生産性に優れた光学素子を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】(1) 本発明の第1の態様は、複数の三次元セルの集合によって光学素子を構成し、個々のセルには、それぞれ特定振幅および特定位相を定義し、個々のセルに所定の入射光を与えると、当該セルに定義された特定振幅および特定位相に応じて入射光の振幅および位相を変化させた射出光が得られるように、個々のセルがそれぞれ特定の光学的特性を有するようにしたものである。

【0007】(2) 本発明の第2の態様は、上述の第1の態様に係る光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた透過率をもった振幅変調部を有するようにしたものである。

【0008】(3) 本発明の第3の態様は、上述の第1の態様に係る光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた反射率をもった振幅変調部を有するようにしたものである。

【0009】(4) 本発明の第4の態様は、上述の第1の態様に係る光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた有効面積をもった振幅変調部を有するようにしたものである。

【0010】(5) 本発明の第5の態様は、上述の第1～第4の態様に係る光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定位相に応じた屈折率をもった位相変調部を有するようにしたものである。

【0011】(6) 本発明の第6の態様は、上述の第1～第4の態様に係る光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定位相に応じた光路長をもった位相変調部を有するようにしたものである。

【0012】(7) 本発明の第7の態様は、上述の第1の態様に係る光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた深さだけ掘り下げることにより形成された凹部を有するようにしたものである。

【0013】(8) 本発明の第8の態様は、上述の第1の態様に係る光学素子において、個々のセルが、それぞれ特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた高さだけ隆起させることにより形成された凸部を有するようにしたものである。

【0014】(9) 本発明の第9の態様は、上述の第7または第8の態様に係る光学素子において、個々のセルの凹部もしくは凸部が形成された面を反射面とし、セルに与えられた入射光がこの反射面によって反射することにより射出光となるようにしたものである。

【0015】(10) 本発明の第10の態様は、上述の第7または第8の態様に係る光学素子において、個々の

セルが、凹部もしくは凸部を有する本体層と、この本体層の凹部もしくは凸部が形成された面を覆う保護層と、を備え、本体層と保護層とが互いに異なる材質から構成されるようにしたものである。

【0016】(11) 本発明の第11の態様は、上述の第10の態様に係る光学素子において、本体層と保護層とを互いに異なる屈折率をもった透光性材料から構成し、セルに与えられた入射光が、本体層および保護層を通過することにより射出光となるようにしたものである。

【0017】(12) 本発明の第12の態様は、上述の第10の態様に係る光学素子において、本体層と保護層との境界を反射面とし、セルに与えられた入射光が、この反射面によって反射することにより射出光となるようにしたものである。

【0018】(13) 本発明の第13の態様は、上述の第1～第12の態様に係る光学素子において、個々のセルを一次元的もしくは二次元的に配列するようにしたものである。

【0019】(14) 本発明の第14の態様は、上述の第13の態様に係る光学素子において、個々のセルの縦方向のピッチおよび横方向のピッチがそれぞれ等ピッチとなるように配列するようにしたものである。

【0020】(15) 本発明の第15の態様は、上述の第1～第14の態様に係る光学素子において、所定の視点位置から観測したときに物体像が再生されるように、当該物体像からの物体光の複素振幅分布を記録するようにし、ホログラムとして利用することができるようにしたものである。

【0021】(16) 本発明の第16の態様は、所定の物体像が記録された光学素子を製造する方法において、複数の三次元仮想セルの集合を定義するセル定義段階と、個々の仮想セルについてそれぞれ代表点を定義する代表点定義段階と、記録すべき物体像を定義する物体像定義段階と、物体像から発せられた物体光の各代表点位置における複素振幅を計算することにより、個々の仮想セルに特定振幅および特定位相を定義する振幅位相定義段階と、個々の仮想セルをそれぞれ実体のある物理セルに置き換え、三次元物理セルの集合からなる光学素子を形成する物理セル形成段階と、を行い、物理セル形成段階では、個々の物理セルに所定の入射光を与えると、当該物理セルに対応する仮想セルに定義された特定振幅および特定位相に応じて入射光の振幅および位相を変化させた射出光が得られるように、それぞれ特定の光学的特性を有する物理セルによって置き換えを行うようにしたものである。

【0022】(17) 本発明の第17の態様は、上述の第16の態様に係る光学素子の製造方法において、セル定義段階において、ブロック状の仮想セルを一次元的もしくは二次元的に配列することによりセル集合の定義を行うようにしたものである。

【0023】(18) 本発明の第18の態様は、上述の第16または第17の態様に係る光学素子の製造方法において、振幅位相定義段階において、物体像上に複数の点光源を定義し、各点光源から所定振幅および所定位相をもった球面波からなる物体光が発せられたものとし、所定の基準時刻において各代表点位置における各点光源からの物体光の合計複素振幅を計算するようにしたものである。

【0024】(19) 本発明の第19の態様は、上述の第18の態様に係る光学素子の製造方法において、物体像上に波長 $\lambda$ の物体光を発する $K$ 個の点光源を定義し、第 $k$ 番目( $k=1\sim K$ )の点光源 $O(k)$ から発せられる物体光の振幅を $A_k$ 、位相を $\theta_k$ とし、所定の代表点 $P$ と第 $k$ 番目の点光源 $O(k)$ との距離を $r_k$ としたときに、所定の代表点 $P$ における $K$ 個の点光源からの物体光の合計複素振幅を、 $\sum_{(k=1\sim K)} (A_k/r_k \cdot \cos(\theta_k \pm 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \cdot \sin(\theta_k \pm 2\pi r_k/\lambda))$ なる計算によって求めるようにしたものである。

【0025】(20) 本発明の第20の態様は、上述の第16～第19の態様に係る光学素子の製造方法において、物理セル形成段階において、個々の仮想セルを、特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた深さだけ掘り下げることにより形成される凹部を有する物理セルに置き換えるようにしたものである。

【0026】(21) 本発明の第21の態様は、上述の第16～第19の態様に係る光学素子の製造方法において、物理セル形成段階において、個々の仮想セルを、特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた高さだけ隆起させることにより形成される凸部を有する物理セルに置き換えるようにしたものである。

【0027】(22) 本発明の第22の態様は、上述の第20または第21の態様に係る光学素子の製造方法において、物理セルの凹部に充填された物質もしくは凸部を構成する物質の屈折率を $n_1$ とし、これに接する別な物質の屈折率を $n_2$ とし、物体光の波長を $\lambda$ としたときに、凹部の最大深さもしくは凸部の最大高さ $d_{\max}$ を、 $d_{\max} = \lambda / |n_1 - n_2|$ に設定し、特定位相 $\theta$ に応じた深さもしくは高さ $d$ を、 $n_1 > n_2$ の場合には、 $d = \lambda \cdot \theta / 2 (n_1 - n_2) \pi$ なる計算に基づいて、 $n_1 < n_2$ の場合には、 $d = d_{\max} - \lambda \cdot \theta / 2 (n_2 - n_1) \pi$ なる計算に基づいて、それぞれ決定し、凹部もしくは凸部を透過してくる透過光によって物体像の再生が行われるようにしたものである。

【0028】(23) 本発明の第23の態様は、上述の第20または第21の態様に係る光学素子の製造方法において、物理セルの凹部に充填された物質もしくは凸部を構成する物質の屈折率を $n$ とし、物体光の波長を $\lambda$ としたときに、凹部の最大深さもしくは凸部の最大高さ $d_{\max}$ を、 $d_{\max} = \lambda / 2n$ に設定し、特定位相 $\theta$ に応じた

深さもしくは高さ $d$ を、 $d = \lambda \cdot \theta / 4 n \pi$ なる計算に基づいて決定し、凹部もしくは凸部の境界面において反射する反射光によって物体像の再生が行われるようにしたものである。

【0029】(24) 本発明の第24の態様は、上述の第20～第23の態様に係る光学素子の製造方法において、特定振幅に応じた面積として複数 $a$ 通りの面積を定義し、特定位相に応じた深さもしくは高さとして複数 $b$ 通りの深さもしくは高さを定義し、合計 $a \times b$ 通りの種類の物理セルを用意しておき、個々の仮想セルを、これらの物理セルのうち、必要とされる光学的特性が最も近い物理セルに置き換えるようにしたものである。

【0030】(25) 本発明の第25の態様は、上述の第16～第24の態様に係る光学素子の製造方法において、再生時に照射される照明光の向きもしくは再生時の視点位置を考慮して、各仮想セルについて定義された特定位相に修正を加える位相修正段階を更に行うようにしたものである。

【0031】(26) 本発明の第26の態様は、上述の第16～第25の態様に係る光学素子の製造方法において、セル定義段階において、仮想セルを水平方向および垂直方向に並べることにより、二次元マトリックス上に配列された仮想セルからなるセル集合の定義を行い、振幅位相定義段階において、物体像上に、それぞれが水平方向に伸び、互いに垂直方向に配置された複数 $M$ 個の点光源列を定義するとともに、二次元マトリックスにおいて垂直方向に隣接する複数行に所属する仮想セル群を1グループとすることにより合計 $M$ 個のグループを定義し、 $M$ 個の点光源列と $M$ 個のグループとを垂直方向に関する配置順に応じて対応させ、第 $m$ 番目( $m = 1 \sim M$ )の点光源列内の点光源から発せられた物体光が、第 $m$ 番目のグループに所属する仮想セルにのみ到達するものとして、各代表点位置における合計複素振幅の計算を行うようにしたものである。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図示する実施形態に基づいて説明する。

【0033】§1. 本発明の基本原理解

図1は、参照光を利用して、光学的に干渉縞として物体像を記録する一般的なホログラフィーの手法を示す斜視図である。物体10の立体像を記録媒体20上に記録する場合、物体10を参照光 $R$ と同一波長の光(通常は、レーザ光)で照らし、物体10からの物体光と参照光 $R$ とによって記録媒体20上に形成される干渉縞を記録することになる。ここでは、記録媒体20上に $XY$ 座標系を定義し、座標 $(x, y)$ に位置する任意の点 $P(x, y)$ に着目すると、この点 $P(x, y)$ には、物体10上の各点 $O(1), O(2), \dots, O(k), \dots, O(K)$ からの各物体光と参照光 $R$ との干渉による合成波の振幅強度が記録されることになる。記録媒体20上の

別な点 $P(x', y')$ にも、同様に、各点からの物体光と参照光 $R$ との干渉による合成波の振幅強度が記録されるが、光の伝播距離が異なるため、点 $P(x, y)$ に記録される振幅強度と点 $P(x', y')$ に記録される振幅強度とは異なる。このようにして、記録媒体20上には、振幅強度分布が記録されることになり、この振幅強度分布によって、物体光の振幅と位相とが表現されていることになる。再生時には、参照光 $R$ と同一波長の再生照明光を参照光 $R$ と同一方向(もしくは、記録媒体20に関して面对称となる方向)から照射することにより、物体10の立体再生像が得られる。

【0034】光学的な方法により、記録媒体20上に干渉縞を記録するには、記録媒体20として感光性材料を用いることになり、干渉縞は記録媒体20上の濃淡パターンとして記録されることになる。一方、計算機ホログラムの手法を利用する場合には、この図1に示す光学系で生じる現象を、コンピュータ上でシミュレーションすればよい。具体的には、現実の物体10や記録媒体20の代わりに、コンピュータ上の仮想三次元空間内において、物体像10および記録面20を定義し、物体像10上に多数の点光源 $O(1), O(2), \dots, O(k), \dots, O(K)$ を定義する。そして、各点光源について、所定の波長、振幅、位相をもった物体光(球面波)を定義し、更に、この物体光と同一波長をもった参照光を定義する。一方、記録面20上に、多数の代表点 $P(x, y)$ を定義し、個々の代表点の位置に到達する物体光と参照光との合成波の振幅強度を演算によって求める。こうして、記録面20上には、演算によって振幅強度分布(干渉縞)が求まることになるので、この振幅強度分布を物理的な記録媒体上に、濃淡分布あるいは凹凸分布として記録すれば、物理的なホログラム記録媒体を作成することができる。

【0035】もっとも、計算機ホログラムの手法を用いれば、必ずしも参照光 $R$ を用いて干渉縞として記録を行う必要はなく、物体像10からの物体光そのものを記録面20に直接記録することも可能である。すなわち、光学的にホログラムを作成する場合には、感光性材料からなる記録媒体20上に、感光に必要な一定時間にわたって干渉波を発生させ、これを干渉縞として記録しなければならない。このため、参照光を利用して定在波となる干渉波を発生させる必要がある。ところが、計算機ホログラムの手法を利用すれば、記録面20上に存在するある瞬間の波の状態を、あたかも時間を静止させて観測することができる、これを記録することができる。別言すれば、所定の基準時刻における記録面20上の各代表点位置における物体光の振幅および位相を演算によって求めることができる。本発明では、このような計算機ホログラムの利点を生かし、物体光を参照光との干渉縞として記録する手法を採らずに、物体光の振幅と位相とを直接記録する手法を採っている。

【0036】いま、たとえば、図2の斜視図に示すように、点光源Oと記録面20とが定義されている場合に、記録面20上の代表点P(x, y)に到達した物体光の振幅と位相がどのように計算されるかを考えてみよう。

一般に、振幅と位相とを考慮した波動は、

$$A \cos \theta + i A \sin \theta$$

なる複素関数で表現される(iは虚数単位)。ここで、Aが振幅を示すパラメータであり、 $\theta$ が位相を示すパラメータである。そこで、点光源Oから発せられる物体光を、上記複素関数で定義すれば、代表点P(x, y)の位置における物体光は、

$$A/r \cdot \cos(\theta + 2\pi r/\lambda) + i A/r \cdot \sin(\theta + 2\pi r/\lambda)$$

なる複素関数で表される。ここで、rは、点光源Oと代表点P(x, y)との距離であり、 $\lambda$ は物体光の波長である。物体光の振幅は距離rが大きくなるにしたがって減衰し、位相は距離rと波長 $\lambda$ との関係で決定される。この複素関数には、時間を示す変数が入っていないが、これは、前述したように、所定の基準時刻において時間を静止させたときに観測される波の瞬間状態を示す式だからである。

【0037】結局、物体像10の情報を記録面20上に記録するには、図3の斜視図に示されているように、物体像10上に多数の点光源O(1), O(2), ..., O(k), ..., O(K)を定義し、記録面20上の各代表点位置において、各点光源から発せられる物体光の合成波の振幅および位相を演算によって求め、これを何らかの方法で記録すればよい。いま、物体像10上に合計K個の点光源が定義され、第k番目の点光源O(k)から発せられる物体光が、図3に示すように、

$$A_k \cos \theta_k + i A_k \sin \theta_k$$

なる複素関数で表現されたとしよう。物体像10が、それぞれ所定の階調値(濃度値)をもった画素の集合から構成されていたとすれば、振幅を示すパラメータ $A_k$ は、当該点光源O(k)の位置に存在する画素の階調値に対応して定められる。位相 $\theta_k$ は、一般的には、 $\theta_k = 0$ なる設定でかまわないが、必要に応じて、物体像10の各部から異なる位相の物体光を発せられているような設定を行うことも可能である。全K個の点光源について、それぞれ上記複素関数で表現される物体光が定義できたら、記録面20上の任意の代表点P(x, y)の位置における全K個の物体光の合成波は、図3に示すように、

$$\sum_{k=1 \sim K} (A_k/r_k \cos(\theta_k + 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \sin(\theta_k + 2\pi r_k/\lambda))$$

なる複素関数で表現されることになる。ここで、 $r_k$ は第k番目の点光源O(k)と代表点P(x, y)との距離である。なお、上述の式は、物体像10を記録媒体の奥に再生させる場合の式に相当する。物体像10を記録

媒体の手前側に浮き出すように再生させる場合には、

$$\sum_{k=1 \sim K} (A_k/r_k \cos(\theta_k - 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \sin(\theta_k - 2\pi r_k/\lambda))$$

なる式により複素関数を計算すればよい(位相の項の符号が負になっている)。したがって、両方の場合を考慮した複素関数は、

$$\sum_{k=1 \sim K} (A_k/r_k \cos(\theta_k \pm 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \sin(\theta_k \pm 2\pi r_k/\lambda))$$

となる。この関数の実数部を $R_{xy}$ 、虚数部を $I_{xy}$ として、 $R_{xy} + i I_{xy}$ なる形にすれば、この合成波の代表点P(x, y)の位置における複素振幅(位相を考慮した振幅)は、図4に示すように、複素座標平面上における座標点Qで示されることになる。結局、代表点P(x, y)における物体光合成波の振幅は、図4に示す座標平面上における原点Oと座標点Qとの距離 $A(x, y)$ で与えられ、位相はベクトルOQと実数軸とのなす角度 $\theta(x, y)$ で与えられることになる。

【0038】かくして、記録面20上に定義された任意の代表点P(x, y)位置における物体光合成波の振幅 $A(x, y)$ と位相 $\theta(x, y)$ とが、計算によって求められることになる。したがって、記録面20上には、物体像10から発せられる物体光の複素振幅分布(物体光合成波の振幅および位相の分布)が得られる。こうして得られた複素振幅分布を、何らかの形で物理的な記録媒体上に記録し、所定の再生照明光を与えたときに、物体光の波面が再生されるようにすれば、物体像10をホログラムとして記録できることになる。

【0039】本願発明者は、記録面20上に物体像10から発せられる物体光の複素振幅分布を記録するために、三次元セルを用いる方法を着想した。三次元セルを用いて複素振幅分布を記録し、物体像10をホログラムとして記録するには、次のような手順を行えばよい。まず、たとえば、図5に示すように、記録面20の位置に、三次元仮想セル集合30を定義する。この三次元仮想セル集合30は、所定寸法をもったブロック状の仮想セルを縦横に並べることにより、セルを二次元的に配列したものである。そして、個々の仮想セルについて、それぞれ代表点を定義する。代表点の位置は、セル内の任意の1点でかまわないが、ここでは、セル前面(物体像10に向かい合った面)の中心点位置に当該セルの代表点を定義することにする。たとえば、三次元仮想セル集合30の前面(物体像10に向かい合った面)にXY座標系を定義し、この座標系における座標(x, y)の位置にある代表点P(x, y)をもつ仮想セルを、仮想セルC(x, y)と呼ぶことにすれば、この仮想セルC(x, y)の前面の中心点に代表点P(x, y)がくることになる。

【0040】一方、物体像10を点光源の集合として定

義する。図5に示す例では、物体像10は、K個の点光源 $O(1)$ ,  $O(2)$ , ...,  $O(k)$ , ...,  $O(K)$ の集合として定義されている。これら各点光源からは、それぞれ所定の振幅および位相をもった物体光が発せられ、代表点 $P(x, y)$ には、これら物体光の合成波が到達することになる。この合成波の複素振幅は、前述した式により計算することができ、図4に示す複素座標平面における座標点 $Q$ として示され、この座標点 $Q$ に基づいて、振幅 $A(x, y)$ と位相 $\theta(x, y)$ が得られることは既に述べたとおりである。ここでは、代表点 $P(x, y)$ について得られた振幅 $A(x, y)$ および位相 $\theta(x, y)$ を、当該代表点 $P(x, y)$ を含む仮想セル $C(x, y)$ についての特定振幅 $A(x, y)$ および特定位相 $\theta(x, y)$ と呼ぶことにする。

【0041】以上の手順は、実際にはコンピュータを用いた演算処理として実行されることになる。結局、この演算処理により、三次元仮想セル集合30を構成するすべての仮想セルについて、それぞれ特定振幅と特定位相とを求めることができる。そこで、これら個々の仮想セルをそれぞれ実体のある物理セルに置き換えれば、三次元物理セルの集合からなる光学素子（物体像10が記録されたホログラム記録媒体）が作成できる。ここで、仮想セルに取って代わる物理セルは、仮想セルに定義されている特定振幅および特定位相に応じて、入射光の振幅および位相を変調することができるとような光学的特性を有している必要がある。別言すれば、置き換えられた個々の物理セルは、所定の入射光を与えたときに、置換前の仮想セルに定義されていた特定振幅および特定位相に応じて、この入射光の振幅および位相を変化させることにより射出光を生み出す機能をもった特定の光学的特性を有している必要がある。

【0042】このような特定の光学的特性をもった物理セルの集合からなる光学素子に対して、所定の再生用照明光（理想的には、上記演算処理において用いた物体光波長 $\lambda$ と同じ波長をもった単色光平面波）を照射すれば、個々の物理セルでは、再生用照明光が特定振幅および特定位相によって変調されるので、もとの物体光の波面が再生されることになる。かくして、この光学素子に記録されていたホログラムが再生されることになる。

【0043】§2. 物理セルの具体的な構成  
続いて、本発明に用いる物理セルの具体的な構成について述べる。本発明に用いる物理セルは、三次元の立体セルであり、それぞれ特定振幅および特定位相が定義されており、個々のセルに所定の入射光を与えると、当該セルに定義された特定振幅および特定位相に応じて入射光の振幅および位相を変化させた射出光が得られるような特定の光学的特性を有していれば、どのような構成のセルでもかまわない。たとえば、図6に示すような三次元セル $C(x, y)$ について、振幅 $A(x, y)$ および位相 $\theta(x, y)$ が記録されていたとし、このセルに振幅

$A_{in}$ 、位相 $\theta_{in}$ なる入射光 $L_{in}$ が与えられた場合には、振幅 $A_{out} = A_{in} \cdot A(x, y)$ 、位相 $\theta_{out} = \theta_{in} \pm \theta(x, y)$ なる射出光 $L_{out}$ が得られるようにすればよい。入射光の振幅 $A_{in}$ は、セルに記録されていた特定振幅 $A(x, y)$ による変調を受けて振幅 $A_{out}$ に変化し、入射光の位相 $\theta_{in}$ は、セルに記録されていた特定位相 $\theta(x, y)$ による変調を受けて位相 $\theta_{out}$ に変化したことになる。

【0044】三次元セル内において振幅を変調する一つの方法は、セル内に特定振幅に応じた透過率をもった振幅変調部を設けておく方法である（セル全体を振幅変調部として用いてもよいし、セルの一部に振幅変調部を設けるようにしてもよい）。たとえば、透過率が $Z\%$ の振幅変調部をもったセルは、 $A(x, y) = Z/100$ なる特定振幅が記録されているセルとして機能し、振幅 $A_{in}$ をもった入射光がこのセルを通ると、 $A_{out} = A_{in} \cdot Z/100$ なる振幅をもった射出光に振幅変調されることになる。個々の三次元セルの透過率を任意の値に設定するには、たとえば、着色剤の含有率をそれぞれ変えることにより対応することができる。

【0045】三次元セル内において振幅を変調する別な方法は、セル内に特定振幅に応じた反射率をもった振幅変調部を設けておく方法である。たとえば、反射率が $Z\%$ の振幅変調部をもったセルは、 $A(x, y) = Z/100$ なる特定振幅が記録されているセルとして機能し、振幅 $A_{in}$ をもった入射光がこの振幅変調部で反射して射出したとすれば、 $A_{out} = A_{in} \cdot Z/100$ なる振幅をもった射出光に振幅変調されることになる。個々の三次元セルの反射率を任意の値に設定するには、たとえば、セル内に反射面を用意しておく（この反射面が振幅変調部として機能することになる）、この反射面の反射率を任意の値に設定すればよい。具体的には、たとえば、反射面の表面粗さを変えることにより、反射光と散乱光との割合を調節することができるので、この表面粗さを調節することにより、任意の反射率をもったセルを用意することが可能になる。

【0046】三次元セル内において振幅を変調する更に別な方法は、セル内に特定振幅に応じた有効面積をもった振幅変調部を設けておく方法である。たとえば、入射光の全入射領域の面積を $100\%$ としたときに、このうちの $Z\%$ の有効面積をもった部分に入射した入射光だけから物体像の再生に有効な射出光が得られるような構造からなる振幅変調部をもったセルは、 $A(x, y) = Z/100$ なる特定振幅が記録されているセルとして機能する。すなわち、振幅 $A_{in}$ をもった入射光がこの振幅変調部に入射光しても、そのうちの $Z\%$ の光だけが有効な射出光として出て行くことになるので、 $A_{out} = A_{in} \cdot Z/100$ なる振幅をもった射出光に振幅変調されたことになる。このような特定の有効面積をもった領域部分のみから有効な射出光を得るには、物理的な凹凸構造を



もったセルを用いればよい。その具体例については、§3において説明する。

【0047】一方、三次元セル内において位相を変調する一つの方法は、セル内に特定位相に応じた屈折率をもった位相変調部を設けておく方法である（セル全体を位相変調部として用いてもよいし、セルの一部分に位相変調部を設けるようにしてもよい）。たとえば、屈折率が $n_1$ の材料からなる位相変調部をもったセルと、屈折率が $n_2$ の材料からなる位相変調部をもったセルとでは、同一位相をもった入射光を与えても、それぞれ射出光の位相に差が生じることになる。したがって、屈折率の異なる種々の材料からセルを構成するようにすれば、入射光に対して任意の位相変調を施すことが可能になる。

【0048】三次元セル内において位相を変調する別な方法は、セル内に特定位相に応じた光路長をもった位相変調部を設けておく方法である（セル全体を位相変調部として用いてもよいし、セルの一部分に位相変調部を設けるようにしてもよい）。たとえば、屈折率 $n$ をもった同一材料からなる位相変調部をもったセルであっても、この位相変調部の光路長が異なれば、同一位相をもった入射光を与えても、それぞれ射出光の位相に差が生じることになる。たとえば、第1のセルに設けられた位相変調部の光路長が $L$ 、第2のセルに設けられた位相変調部の光路長が $2L$ であったとすると、同一位相をもった入射光が与えられたとしても、第1のセルからの射出光に比べて、第2のセルからの射出光は、屈折率 $n$ をもった材料中を進んだ距離が2倍になるので、それだけ大きな位相差が生じていることになる。任意の光路長をもった位相変調部を実現するには、物理的な凹凸構造をもったセルを用いればよい。その具体例については、§3において説明する。

【0049】このように、特定振幅に基づく振幅変調機能をもった三次元セルや、特定位相に基づく位相変調機能をもった三次元セルは、いくつかの方法によって実現可能であり、上述したいくつかの振幅変調方法および位相変調方法のうちから、任意の方法を選択することにより、本発明に係る光学素子を実現することができる。たとえば、振幅変調方法として、セル内に特定振幅に応じた透過率をもった振幅変調部を設けておく方法を採用し、位相変調方法として、セル内に特定位相に応じた屈折率をもった位相変調部を設けておく方法を採用し、セル全体を振幅変調部および位相変調部として用いるのであれば、図7の表に示されているような16通りの物理セルを選択的に配列することにより、光学素子を形成することができる。この表の横軸は振幅 $A$ 、縦軸は位相 $\theta$ に対応しており、振幅 $A$ および位相 $\theta$ ともに、4つのレンジに分けられている。

【0050】ここで、振幅 $A$ が「0～25%」に対応するレンジに描かれたセル（表の第1列目のセル）は、透過率が非常に低い材料からなるセルであり、振幅 $A$ が

「25～50%」に対応するレンジに描かれたセル（表の第2列目のセル）は、透過率がやや低い材料からなるセルであり、振幅 $A$ が「50～75%」に対応するレンジに描かれたセル（表の第3列目のセル）は、透過率がやや高い材料からなるセルであり、振幅 $A$ が「75～100%」に対応するレンジに描かれたセル（表の第4列目のセル）は、透過率が非常に高い材料からなるセルである。一方、位相 $\theta$ が「0～ $\pi/2$ 」に対応するレンジに描かれたセル（表の第1行目のセル）は、空気に非常に近い屈折率 $n_1$ をもつ材料からなるセルであり、位相 $\theta$ が「 $\pi/2 \sim \pi$ 」に対応するレンジに描かれたセル（表の第2行目のセル）は、空気よりやや大きい屈折率 $n_2$ をもつ材料からなるセルであり、位相 $\theta$ が「 $\pi \sim 3\pi/2$ 」に対応するレンジに描かれたセル（表の第3行目のセル）は、空気よりかなり大きい屈折率 $n_3$ をもつ材料からなるセルであり、位相 $\theta$ が「 $3\pi/2 \sim 2\pi$ 」に対応するレンジに描かれたセル（表の第4行目のセル）は、空気より非常に大きい屈折率 $n_4$ をもつ材料からなるセルである。

【0051】このように、図7に示す例では、4通りの透過率、4通りの屈折率をもった合計16個のセルが用意されているが、より高い精度で振幅と位相をセルに記録するには、透過率および屈折率のステップを更に細かく設定し、より多数種類のセルを用意すればよい。このような16通りの物理セルを用いて仮想セルを置き換えるには、個々の仮想セルに定義された特定振幅および特定位相による変調を行うために必要とされる光学的特性に最も近い光学的特性を有する物理セルを選択すればよい。

#### 【0052】§3. 物理セルの実用的な構成

既に述べたように、本発明に用いる物理セルは、特定振幅および特定位相に応じて入射光を変調する機能をもったセルであれば、どのような構成で実現してもかまわない。図7には、特定振幅に応じた変調を透過率により制御し、特定位相に応じた変調を屈折率により制御する例が示されている。このように、理論的には、振幅や位相を変調する方法は、何通りも存在するが、工業的に量産することを考慮すると、必ずしもすべての方法が実用的であるとは言えない。本発明に係る光学素子を用いて、ある程度の解像度をもった物体像を再生するためには、個々の三次元セルの寸法をある程度以下に制限せざるを得ない（大まかに言って、セル寸法が $100\mu\text{m}$ 以上になると、視認性の良い物体像の再生は困難である）。したがって、図7に示す16通りの物理セルを組み合わせる光学素子を作成する場合、微小なセルを部品として二次元的に配列する作業が必要になり、しかも、特定の位置には、16通りのセルのうちの特定のセルを配置する必要がある。このような作業を考えれば、図7に示すような物理セルを用いて光学素子を構成する方法は、工業的な量産には適していないことがわかる。

【0053】本願発明者は、1つの物理セルに振幅と位相の情報をもたせることができ、かつ、そのような物理セルの集合により、工業的量産に適した光学素子を構成する方法として、個々の物理セルに凹凸構造をもたせ、この凹凸構造部分の面積として振幅の情報を記録し、凹凸構造部分の段差長(凹部の深さ、もしくは凸部の高さ)として位相の情報を記録する方法を案出したのである。

【0054】図8は、本発明に利用するのに最適と考えられる物理セルC(x, y)の構造の一例を示す斜視図である。図示のとおり、この三次元物理セルは、ほぼ立方体のブロック状をしており、その上面には、溝G(x, y)が形成されている。この例では、物理セルC(x, y)の寸法は、図において、 $C1=0.6\mu\text{m}$ 、 $C2=0.25\mu\text{m}$ 、 $C3=0.25\mu\text{m}$ であり、溝G(x, y)の寸法は、 $G1=0.2\mu\text{m}$ 、 $G2=0.05\mu\text{m}$ 、 $G3=C3=0.25\mu\text{m}$ である。このような構造をもった物理セルC(x, y)を用いれば、振幅の情報は、溝G(x, y)の横方向の幅G1の値として記録することができ、位相の情報は、溝G(x, y)の深さG2の値として記録することができる。別言すれば、特定振幅および特定位相が定義された仮想セルを、このような構造をもった物理セルで置き換える際には、特定振幅に応じた寸法G1を有し、特定位相に応じた寸法G2を有する物理セルによる置き換えが行われることになる。

【0055】この図8に示す物理セルにおいて、振幅の情報が溝G(x, y)の幅G1として記録され、位相の情報が溝G(x, y)の深さG2として記録される理由を、図9の正面図を参照して説明しよう。いま、この物理セルC(x, y)が屈折率 $n2$ をもった物質から構成されており、この物理セルC(x, y)の外側が屈折率 $n1$ をもった物質(たとえば、空気)から構成されているものとする。このとき、溝G(x, y)の内部の面S1に垂直に入射した光L1と、溝G(x, y)の外部の面S2に垂直に入射した光L2とについて、屈折率 $n2$ の媒質中を通過する光路長を比較すると、光L1の光路長の方が、光L2の光路長よりも、溝G(x, y)の深さG2の分だけ短くなることがわかる。したがって、屈折率 $n1$ 、 $n2$ が異なっていれば、物理セルC(x, y)から透過光として射出される光L1と光L2との間には、所定の位相差が生じることになる。

【0056】一方、図10は、物理セルC(x, y)からの反射光として射出光が得られる場合を示す正面図である。この例では、物理セルC(x, y)の上面、すなわち、面S1およびS2が反射面となっており、溝G(x, y)の内部の面S1にほぼ垂直に入射した光L1と、溝G(x, y)の外部の面S2にほぼ垂直に入射した光L2とが、それぞれ各面にほぼ垂直に反射して射出することになる。このとき、入射および反射の経路に沿

った全光路長を比較すると、光L1の光路長の方が、光L2の光路長よりも、溝G(x, y)の深さG2の2倍に相当する分だけ長くなることがわかる。したがって、物理セルC(x, y)から反射光として射出される光L1と光L2との間には、所定の位相差が生じることになる。

【0057】このように、物理セルC(x, y)が透過型のセルであっても、反射型のセルであっても、溝G(x, y)の内部の面S1に入射した光L1と、溝G(x, y)の外部の面S2に入射した光L2との間には、所定の位相差が生じることになり、この位相差は溝G(x, y)の深さG2に応じて決まることになる。そこで、物理セルC(x, y)の上面に入射した光のうち、溝G(x, y)の内部の面S1への入射光に基づいて得られる射出光のみを、物体像10の再生に有効な射出光として取り扱うことにすれば(別言すれば、図9または図10において、光L1のみを像の再生に有効な射出光として取り扱うようにすれば)、像の再生に有効な射出光L1は、この物理セルC(x, y)において、溝G(x, y)の深さG2に対応した特定位相による位相変調を受けたことになる。かくして、物体光の位相の情報は、溝G(x, y)の深さG2として記録することができる。

【0058】また、上述のように、溝G(x, y)の内部の面S1への入射光に基づいて得られる射出光のみを、物体像10の再生に有効な射出光として取り扱うことにすれば、物体光の振幅の情報を、溝G(x, y)の幅G1として記録することができる。なぜなら、溝G(x, y)の幅G1が大きくなればなるほど、溝G(x, y)の内部の面S1の面積も大きくなり、物体像10の再生に有効な射出光の割合が増えるためである。すなわち、図9または図10に示す射出光L2には、何ら意味のある位相成分が含まれていないため、再生時に視点位置においてこれら射出光L2が観測されたとしても、いわゆるバックグラウンドのノイズ成分として観測されるだけであり、意味のある像を再生する有効な光としては認識されないことになる。これに対し、射出光L1には、意味のある位相成分が含まれているため、像の再生に有効な信号成分として観測されることになる。結局、溝G(x, y)の幅G1は、当該物理セルC(x, y)から射出される光のうちの信号成分として観測される光L1の割合を決定する要素ということになり、信号波の振幅の情報を与えるパラメータになる。

【0059】もっとも、一般的には、振幅の情報は、溝G(x, y)の幅G1によって表現されているわけではなく、溝G(x, y)の内部の面S1の面積によって表現されることになる。図8に示す実施形態の場合は、たまたま、溝G(x, y)の奥行き寸法G3が、物理セルC(x, y)の奥行き寸法C3に常に等しくなるように設定しているため、溝G(x, y)の内部の面S1の面

積が、幅 $G_1$ の長さに比例することになっているが、溝 $G(x, y)$ の奥行き寸法 $G_3$ は必ずしも一定にする必要はなく、幅寸法と奥行き寸法との両者を変化させて、溝 $G(x, y)$ の内部の面 $S_1$ の面積にバリエーションをもたせるようにしてもかまわない。

【0060】このように、ブロック状の物理セルの上面のうち、特定振幅に応じた面積をもった部分(図8の面 $S_1$ に相当する部分)を、特定位相に応じた深さ(図8の寸法 $G_2$ に相当する深さ)だけ掘り下げることにより、凹部(溝 $G(x, y)$ )を形成するようにすれば、このような構造をもった物理セルによって、再生用照明光に対して、特定振幅に応じた振幅変調および特定位相に応じた位相変調を施すことが可能になる。もっとも、ブロック状の物理セルに凹部を形成する代わりに、凸部を形成しても、同様の変調処理が可能である。すなわち、図8に示す物理ブロックにおいて、寸法 $G_2$ を負の値に設定し、溝の代わりに突起部を形成するようにしても、この突起部の高さに応じた光路差を生じさせることができ、位相差を生じさせることができる。別言すれば、ブロック状の物理セルの上面のうち、特定振幅に応じた面積をもった部分を、特定位相に応じた高さだけ隆起させることにより、凸部を形成するようにすれば、このような構造をもった物理セルによっても、再生用照明光に対して、特定振幅に応じた振幅変調および特定位相に応じた位相変調を施すことが可能になる。

【0061】図8に示すような溝 $G(x, y)$ をもった物理セル $C(x, y)$ では、溝の幅 $G_1$ および深さ $G_2$ は連続的に変化させることができるので、理論的には、無限種類の物理セルを用意することが可能である。このような無限種類の物理セルを用いれば、仮想セルに定義された特定振幅に応じた正確な溝幅 $G_1$ をもち、特定位相に応じた正確な深さ $G_2$ をもった物理セルによって、当該仮想セルを置き換えることが可能である。しかしながら、実用上は、 $a$ 通りの溝幅、 $b$ 通りの深さを予め定め、合計 $a \times b$ 通りの物理セルを用意しておき、これらの物理セルの中から必要とされる光学的特性が最も近い物理セルを選択するのが好ましい。図11は、7通りの溝幅と、4通りの深さを定め、合計28通りの物理セルを用意した例を示す斜視図である。この28通りの物理セルは、いずれも図8に示す形態をしたブロック状の物理セルであり、図11には、これらの物理セルを4行7列の行列状に配置した状態が示されている。

【0062】この図11に示された行列の7つの列は、振幅 $A$ のバリエーションを示し、4つの行は、位相 $\theta$ のバリエーションを示している。たとえば、列 $W_1$ に位置するセルは、振幅 $A$ の最小値に対応するセルであり、溝幅 $G_1 = 0$ 、すなわち、溝 $G$ が全く形成されていないセルになっている。列 $W_2 \sim W_7$ へと右側へ移動するにしたがって、より大きな振幅 $A$ に対応するセルとなっており、溝幅 $G_1$ は徐々に広がっている。列 $W_7$ に位置する

セルは、振幅 $A$ の最大値に対応するセルであり、溝幅 $G_1 = \text{セル幅}C_1$ 、すなわち、全面が掘られたセルになっている。また、この図11に示された行列の行に着目すると、たとえば、行 $V_1$ に位置するセルは、位相 $\theta$ の最小値に対応するセルであり、溝の深さ $G_2 = 0$ 、すなわち、溝 $G$ が全く形成されていないセルになっている。行 $V_2 \sim V_4$ へと下側へ移動するにしたがって、より大きな位相 $\theta$ に対応するセルとなっており、溝の深さ $G_2$ は徐々に大きくなっている。

【0063】§4. 実用的な物理セルを用いた光学素子の作成方法

ここでは、図11に示すような28通りの物理セルを利用して、物体像10が記録された光学素子(ホログラム記録媒体)を作成する具体的な方法を述べる。まず、コンピュータを利用して、図5に示すように、点光源の集合からなる物体像10と、三次元仮想セル集合30を定義する。ここで、三次元仮想セル集合30を構成する個々の仮想セルは、図8に示すようなブロック状のセル(この時点では、まだ溝は形成されていない)であり、このセルを縦横に等ピッチで二次元配列することにより、三次元仮想セル集合30を形成する。1つの仮想セルの寸法は、たとえば、 $C_1 = 0.6 \mu\text{m}$ 、 $C_2 = 0.25 \mu\text{m}$ 、 $C_3 = 0.25 \mu\text{m}$ 程度とすればよく、この場合、セルの横方向のピッチを、 $0.6 \mu\text{m}$ 、縦方向のピッチを、 $0.25 \mu\text{m}$ とすれば、セルを隙間なく配置することができる。もちろん、ここに紹介した各セルの寸法値は一例であり、実際には、必要に応じて任意の寸法に設定することができる。ただ、セル寸法が大きくなればなるほど、物体の再生像が得られる視野角が狭くなり、物体の解像度も低下することになる。逆に、セル寸法が小さくなればなるほど、物理セルの凹凸構造を形成するための加工が技術的に困難になってくる。なお、セル配置は、必ずしも等ピッチで行う必要はないが、演算処理や物理セルの加工作業の便宜を考慮すると、縦および横にそれぞれ所定の等ピッチでセルを配置するのが好ましい。

【0064】こうして、物体像10および三次元仮想セル集合30の定義が完了したら、各仮想セル内に代表点を定義し、§2で述べたように、各代表点位置に到達した各物体光の合成波の複素振幅を計算し、個々の仮想セルについて特定振幅および特定位相を定義する。続いて、各仮想セルを、図11に示す28通りの物理セルのいずれかに置き換え(個々の仮想セルに定義されている特定振幅および特定位相に応じた変調を行うために必要とされる光学的特性が最も近い物理セルに置き換える)、物理セルの集合としての光学素子を作成する。このとき、各物理セルの溝形成面(図8や図11に示されている物理セルの場合には上面)が、図5に示す三次元仮想セル集合30の前面(物体像10に向かい合った面)側を向くようにする。

【0065】もっとも、実際には、仮想セルを物理セルに置き換える作業は、光学素子となるべき媒体表面に、所定の凹凸構造を形成する処理として行われる。上述したように、図5に示す三次元仮想セル集合30の個々の仮想セルを物理セルに置き換える際には、溝が前面側を向くように物理セルが配置されることになるので、最終的に作成される光学素子は、表面に多数の溝からなる凹凸構造が形成された媒体となる。したがって、仮想セルを物理セルに置き換える作業は、各仮想セルの情報（各仮想セルに定義された特定振幅および特定位相を示す情報）を記憶しているコンピュータから、凹凸パターンに関するデータを描画装置に与え、この描画装置により、物理的な媒体表面に凹凸パターンを描画する処理として行われることになる。微細な凹凸パターンを描画する処理は、たとえば、電子線描画装置などを用いたパターンニング技術を利用することができる。また、同一の光学素子を量産する場合には、電子線描画装置などを用いた描画処理により、所望の凹凸構造が形成された原版を作成し、この原版を用いたスタンプ工程により、凹凸構造を多数の媒体上に転写するようにすればよい。

【0066】なお、本発明に係る光学素子は、基本的には、図8に示すような物理セルを二次元的に配列することにより得られる本体層によって構成されるが、必要に応じて、この本体層の表面に保護層を形成するようにしてもよい。この保護層は、本体層の表面に形成された凹凸面を覆う役目を果たす。本体層と保護層とは、互いに異なる材質から構成されるようにする。

【0067】各物理セルに与えられた入射光が、本体層および保護層を通過することにより射出光となるような透過型の光学素子の場合、本体層と保護層とは、互いに異なる屈折率をもった透光性材料で構成しておく必要がある。ここでは、このような本体層と保護層との二層構造からなる透過型の光学素子（透過型の物理セル）を作成する場合の溝Gの深さと位相との具体的な関係を検討してみる。

【0068】いま、図12の上段の断面図に示すような構造をもった透過型セルC(x, y)の場合を考える。このセルは、深さd(x, y)の溝Gが形成されている本体層Caと、その上面に溝Gを埋めるようにして形成された保護層Cbと、の二層構造をもったセルである。ここで、保護層Cbを形成する材料の屈折率（別言すれば、凹部に充填された物質もしくは凸部を構成する物質の屈折率）をn1とし、本体層Caを形成する材料の屈折率をn2とすれば、溝Gの最大深さ（凹部の最大深さもしくは凸部の最大高さ）dmaxを、 $d_{\max} = \lambda / |n_1 - n_2|$ に設定すると、波長λの光に対して、0～2πまでの範囲内の位相変調を施すことができる物理セルが実現できる。たとえば、波長λ=400nmとし、屈折率の差|n1 - n2|=2であったとすれば、dmax=200nm(0.2μm)に設定すればよいことにな

る。

【0069】この場合、特定位相θ(x, y)に応じた深さd(x, y)は、図12に示すように、n1>n2の場合には、

$$d(x, y) = \lambda \cdot \theta(x, y) / 2(n_1 - n_2)\pi$$

なる式により求まり、n1<n2の場合には、

$$d(x, y) = d_{\max} - \lambda \cdot \theta(x, y) / 2(n_2 - n_1)\pi$$

なる式により求まることになる。したがって、ある1つの仮想セルC(x, y)についての特定振幅および特定位相が、それぞれA(x, y)およびθ(x, y)と求まったら、上述の式に特定位相θ(x, y)を代入して、対応する深さd(x, y)を計算によって求め、図11に示す28通りの物理セルの中から、計算によって求めた深さd(x, y)に最も近い深さを有し、特定振幅A(x, y)に応じた寸法に最も近い横幅を有する物理セルを選択し、当該仮想セルC(x, y)を選択した物理セルに置き換える作業を行えばよい。なお、保護層Cbを設けなかった場合には、保護層の屈折率n1として空気の屈折率（ほぼ1）を用いればよい。

【0070】一方、図13の上段の断面図に示すような構造をもった反射型セルC(x, y)の場合を考えてみよう。このセルは、深さd(x, y)の溝Gが形成されている本体層Caと、その上面に溝Gを埋めるようにして形成された保護層Cbと、の二層構造をもったセルであるが、本体層Caと保護層Cbとの境界が反射面となっており、図の上方から下方に向かって保護層Cbに入ってきた入射光は、この反射面で反射して図の上方へ向けて射出することになる。ここで、保護層Cbを形成する材料の屈折率（別言すれば、凹部に充填された物質もしくは凸部を構成する物質の屈折率）をnとすれば、溝Gの最大深さ（凹部の最大深さもしくは凸部の最大高さ）dmaxを、 $d_{\max} = \lambda / 2n$ に設定すると、波長λの光に対して、0～2πまでの範囲内の位相変調を施すことができる物理セルが実現できる。たとえば、波長λ=400nmとし、屈折率n=2であったとすれば、dmax=100nm(0.1μm)に設定すればよいことになる。

【0071】この場合、特定位相θ(x, y)に応じた深さd(x, y)は、図13に示すように、

$$d(x, y) = \lambda \cdot \theta(x, y) / 4n\pi$$

なる式により求まる。保護層Cbを設けなかった場合には、保護層の屈折率nとして空気の屈折率（ほぼ1）を用いればよいので、溝Gの最大深さ：dmax=λ/2と設定し、特定位相θ(x, y)に応じた深さd(x, y)は、

$$d(x, y) = \lambda \cdot \theta(x, y) / 4\pi$$

とすればよい。

【0072】§5. 再生環境の便宜を考慮した変形例  
ここでは、これまで述べてきた方法によって作成された

光学素子に再生用照明光を当て、ホログラムとして記録されている物体像10を再生する環境を考えてみる。図14は、このような再生を行う場合の光学素子40（物理セルを用いたホログラム記録媒体）と、再生用照明光 $L_t$ または $L_r$ と、視点Eとの関係を示す側面図である。光学素子40が、透過型セルを用いた透過型タイプの場合、図示のとおり、視点Eとは反対側の面に再生用照明光 $L_t$ を照射し、光学素子40を透過してきた光を視点Eにおいて観察することになり、光学素子40が、反射型セルを用いた反射型タイプの場合、図示のとおり、視点Eと同じ側の面に再生用照明光 $L_r$ を照射し、光学素子40から反射してきた光を視点Eにおいて観察することになる。いずれにせよ、これまで述べてきた方法で光学素子40を作成した場合は、再生用照明光 $L_t$ または $L_r$ を単色光の平面波として与え、図14に示されているように、光学素子40の記録面（物理セルが配列されている二次元配列面）の法線方向から再生用照明光 $L_t$ または $L_r$ を照射し（別言すれば、波面が光学素子40の記録面に平行になるように再生用照明光を照射し）、記録面の法線方向から像の観察を行うと、最も良好な再生像が得られることになる。

【0073】しかしながら、ホログラムとして物体像10が記録されている光学素子40の実際の再生環境は、必ずしも図14に示すような理想的な環境にはならない。特に、反射型タイプの場合、視点Eの位置には観測者の頭が位置するため、図14に示す方向から再生用照明光 $L_r$ を照射しても、光学素子40には観測者の影ができてしまい、良好な再生を行うことができない。したがって、実際の再生環境は、図15に示すように、光学素子40の記録面に対して斜め方向から再生用照明光 $L_t$ もしくは $L_r$ を照射し、法線方向に位置する視点Eにおいて再生像を観察するか、図16に示すように、光学素子40の記録面の法線方向から再生用照明光 $L_t$ もしくは $L_r$ を照射し、斜め方向に位置する視点Eにおいて再生像を観察するか、あるいは、再生用照明光 $L_t$ 、 $L_r$ の照射方向も、視点Eからの観察方向も、いずれも斜め方向に設定する、という形式になるのが一般的である。

【0074】このような実際の再生環境において、良好な再生像が得られるような光学素子40を作成するためには、再生時に照射される照明光の向きおよび再生時の視点位置を考慮して、各仮想セルについて定義された特定位相に修正を加える位相修正処理を行うようにすればよい。

【0075】たとえば、図17に示すように、斜め方向から再生用照明光 $L_1 \sim L_4$ を照射し、光学素子40を透過することにより振幅および位相の変調を受けた光 $L_{L1} \sim L_{L4}$ （物体像10からの物体光の波面を再現した光）を、法線方向に位置する視点Eにおいて観察する場合を考えてみよう。再生用照明光 $L_1 \sim L_4$ が波長 $\lambda$

をもった単色平面波であるとし、このような再生用照明光を斜め方向から光学素子40に照射したとすると、光学素子40上の各点P1～P4に到達した時点で、既に光路差が生じており、各点P1～P4における入射光自体が既に位相差を生じていることになる。たとえば、点P2、P3、P4の位置への入射光は、点P1の位置への入射光に比べて、光路長が $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ だけ長くなっているため、この光路差の分だけ入射光自体が既に位相差を生じていることになる。そこで、「この図17に示すような再生環境において良好な再生像が得られる光学素子40を作成する」という前提であれば、各仮想セルについて、これまで述べた方法によって特定位相を求めた後に、これら各特定位相をセル位置に応じて修正する処理を行えばよい。たとえば、図17の点P1の位置にあるセルについては修正不要であるが、点P2の位置にあるセルについては、光路差 $d_2$ によって生じる位相差を相殺することができるように、特定位相に修正を加えることになる。このように、特定位相に対する修正を行って光学素子40を作成すれば、視点Eの方向に射出される光 $L_{L1} \sim L_{L4}$ によって、良好な再生像が与えられることになる。

【0076】このような特定位相に対する修正処理は、図18に示すように、法線方向から再生用照明光 $L_1 \sim L_4$ を照射し、光学素子40を透過することにより振幅および位相の変調を受けた光 $L_{L1} \sim L_{L4}$ （物体像10からの物体光の波面を再現した光）を、斜め方向に位置する視点Eにおいて観察する場合についても同様である。すなわち、再生用照明光 $L_1 \sim L_4$ が波長 $\lambda$ をもった単色平面波であるとし、このような再生用照明光を法線方向から光学素子40に照射したとすると、光学素子40上の各点P1～P4に到達した時点では、何ら光路差は生じておらず、各点P1～P4における入射光の位相は揃っている。しかしながら、各点P1～P4の位置から発せられる射出光が視点Eに到達するまでの光路長にはそれぞれ差が生じており、視点Eにおいて観察した時点で位相差が生じてしまうことになる。たとえば、点P2、P3、P4の位置からの射出光は、点P1の位置からの射出光に比べて、光路長が $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ だけ長くなっているため、この光路差の分だけ視点Eの位置では位相差が生じてしまうことになる。そこで、「この図18に示すような再生環境において良好な再生像が得られる光学素子40を作成する」という前提であれば、各仮想セルについて、これまで述べた方法によって特定位相を求めた後に、これら各特定位相をセル位置に応じて修正する処理を行えばよい。たとえば、図18の点P1の位置にあるセルについては修正不要であるが、点P2の位置にあるセルについては、光路差 $d_2$ によって生じる位相差を相殺することができるように、特定位相に修正を加えることになる。このように、特定位相に対する修正を行って光学素子40を作成すれば、視点Eの方

向に射出される光 $L_1 \sim L_4$ によって、良好な再生像が与えられることになる。

【0077】以上、特定位相に対する修正処理を、透過型の光学素子40について説明したが、反射型の光学素子40であっても、その修正処理の原理は全く同じである。

【0078】一方、再生用照明光の波長について検討すると、実際の再生環境では、波長入の単色光を再生用照明光として利用できるケースは極めて稀であり、通常は、白色に近い再生用照明光のもとで再生が行われるケースが一般的であると考えてよい。このように、複数の波長成分を含んだ再生用照明光を用いて再生を行うと、各波長の光ごとに異なる位相変調が行われることになるので、良好な再生像が得られなくなる。具体的には、種々の色をもった像が少しずつずれて重なったような再生像が観察されることになる。

【0079】そこで、白色の再生用照明光を用いた再生環境でも、ある程度良好な再生像が得られるようにするためには、物体光の複素振幅分布を計算する際に、図19に示すような工夫を行うようにすればよい。この図19に示す系は、図5に示す系と同様に、コンピュータ上で物体像10および三次元仮想セル集合30を定義し、物体像10から発せられる各物体光の合計複素振幅の分布を、三次元仮想セル集合30上に求める演算を行うためのものである。ここで、三次元仮想セル集合30は、仮想セルを水平方向および垂直方向に並べることにより構成され、二次元マトリックス上に配列された仮想セルからなるセル集合である。各仮想セルには、それぞれ代表点が定義されている。

【0080】ここで述べる手法を用いる場合、各代表点位置における合計複素振幅の計算は、次のような方法によって行われる。まず、物体像10上に、それぞれが水平方向に伸び、互いに垂直方向に配置された複数M個の点光源列を定義する。図示の例では、 $M=3$ として、3本の点光源列 $m_1, m_2, m_3$ が定義されている。各点光源列には、それぞれ水平方向に並んだ複数の点光源が含まれている。たとえば、点光源列 $m_1$ には、 $j$ 個の点光源 $O(m_1, 1), O(m_1, 2), \dots, O(m_1, j)$ が含まれている。一方、三次元仮想セル集合30側においては、二次元マトリックスにおいて垂直方向に隣接する複数行に所属する仮想セル群を1グループとすることにより合計M個のグループを定義する。図示の例では、 $M=3$ として、合計3個のグループが定義されている。すなわち、第1のグループ $g_1$ は、第1行～第3行に所属する仮想セル群からなり、第2のグループ $g_2$ は、第4行～第6行に所属する仮想セル群からなり、第3のグループ $g_3$ は、第7行～第9行に所属する仮想セル群からなる。

【0081】このように、物体像10側にM個の点光源列を定義し、三次元仮想セル集合30側にM個のグルー

プを定義したら、M個の点光源列とM個のグループとを垂直方向に関する配置順に応じて対応させる。すなわち、図示の例の場合、一番上の点光源列 $m_1$ を一番上のグループ $g_1$ に対応させ、中央の点光源列 $m_2$ を中央のグループ $g_2$ に対応させ、一番下の点光源列 $m_3$ を一番下のグループ $g_3$ に対応させることになる。そして、第 $m$ 番目( $m=1 \sim M$ )の点光源列内の点光源から発せられた物体光が、第 $m$ 番目のグループに所属する仮想セルにのみ到達するものとして、各代表点位置における合計複素振幅の計算を行うのである。たとえば、図19における点光源列 $m_1$ に所属する点光源 $O(m_1, 1), O(m_1, 2), \dots, O(m_1, j)$ から発せられた物体光は、グループ $g_1$ に所属する仮想セル(第1行～第3行に配列されている仮想セル)にのみ到達するものとし、グループ $g_2$ や $g_3$ に所属する仮想セルには到達しないものとして、合計複素振幅の計算を行うようにする。換言すれば、グループ $g_1$ に所属する仮想セルの代表点位置における合計複素振幅の計算は、点光源列 $m_1$ に所属する点光源 $O(m_1, 1), O(m_1, 2), \dots, O(m_1, j)$ から発せられた物体光のみを考慮し、点光源列 $m_2, m_3$ に所属する点光源から発せられた物体光は考慮しないことになる。

【0082】実は、このような条件で物体像10の記録を行うと、本来のホログラムとしての記録は行われなくなる。そもそもホログラムの基本原理は、記録面のどの位置にも、物体像10のすべての情報が記録されているようにすることであり、そのような記録を行うことにより、立体像の再生が行われるのである。上述した条件で物体像10の記録を行うと、グループ $g_1$ の領域には、点光源列 $m_1$ の部分(すなわち、物体像10の上部の一部)の情報しか記録されないことになるので、本来のホログラムとしての立体再生像は得られなくなる。具体的には、水平方向に関する立体視は可能になるが、垂直方向に関する立体視が不十分になる。しかしながら、このような条件で物体像10の記録を行うと、白色の再生用照明光を用いた再生環境においては、より良好な再生像(垂直方向に関する立体視は不十分であるものの、より鮮明な再生像)が得られるようになる。これは、垂直方向に関して、物体像10を部分ごとに分けて記録したことにより、再生時の垂直方向に関する再生光の波長分散を抑制する効果が得られるためである。

【0083】以上、本発明を図示するいくつかの実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではなく、この他にも種々の形態で実施可能である。たとえば、上述の実施形態では、個々の三次元セルを、二次元マトリックス状に配列することにより三次元仮想セル集合30を定義しているが、図20に示すように、水平方向に細長い三次元セルを用意し、このような三次元セルを一次元マトリックス状に配列することにより三次元仮想セル集合30を定義することも可

能である。図20に示す例では、水平方向に細長いセルC(1)、C(2)、C(3)、…を垂直方向に並べることにより、三次元仮想セル集合30が形成されている。このように一次元マトリックス状に配列したセルからなる光学素子に物体像10を記録した場合、垂直方向に関する立体視のみが可能な再生像しか得られないことになるが、用途によっては十分に利用価値がある。

【0084】本発明に係る光学素子は、何らかの物体像10をホログラムとして記録し、立体像としてこれを再生するという「ホログラム記録媒体」としての用途に利用できることは勿論である。しかしながら、本発明は、このようなホログラム記録媒体としての用途に限定されるわけではなく、光学フィルタ、偏光素子、光変調素子といった一般的な光学素子を製造する場合にも利用することができる。たとえば、物体像10として、単純な格子模様のパターンを用い、このパターンから発せられる物体光の複素振幅分布を物理的な媒体上に記録するようにすれば、特有の光学的作用をもった光学素子を実現することができる。

【0085】また、三次元セルの配置は、必ずしも直交座標系に沿った配列にする必要はなく、たとえば、極座標系を利用して球面に沿った配列にすることも可能である。更に、上述した実施形態で用いた三次元物理セルは、いずれも受動素子としてのセルであったが、本発明に用いる物理セルは、外部からの信号に基づいて屈折率、透過率、反射率などを制御することが可能な能動的素子によって構成してもかまわない。たとえば、個々の物理セルを液晶などの複屈折性物質によって構成しておき、常光と異常光との割合を外部の信号によって制御できるようにしておけば、外部から与える信号に基づいて、個々の物理セルのもつ特定振幅および特定位相を決定することができるようになる。このような能動的素子を物理セルとして用いた光学素子では、記録された像は物理的に固定されているわけではないので、外部からの信号に応じて、任意の物体像を再生することができるようになる。

【0086】

【発明の効果】以上のとおり本発明によれば、物体像が干渉縞としてではなく物体光の複素振幅分布として記録されるため、再生時に高い回折効率が得られる。しかも、複素振幅分布は、三次元セルの光学的特性を利用して記録されるので、生産性に優れた光学素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】参照光を利用して、光学的に干渉縞として物体像を記録する一般的なホログラフィーの手法を示す斜視図である。

【図2】点光源Oと記録面20とが定義されている場合に、記録面20上の代表点P(x, y)に到達した物体光の振幅と位相を示す斜視図である。

【図3】物体像10上の各点光源から発せられる物体光が、記録面20上の代表点P(x, y)に到達した場合の代表点P(x, y)の位置における物体光の複素振幅を示す斜視図である。

【図4】複素座標平面上の座標点Qで示される複素振幅に基づいて、振幅A(x, y)と位相 $\theta$ (x, y)が求まることを示す図である。

【図5】物体像10を記録するために定義された三次元仮想セル集合30の一例を示す斜視図である。

【図6】本発明に用いる三次元セルC(x, y)の振幅変調および位相変調の機能を示す図である。

【図7】本発明に係る光学素子の構成要素となるべき、透過率および屈折率の異なる16通りの物理セルの一例を示す図である。

【図8】本発明に利用するのに最適と考えられる物理セルC(x, y)の構造の一例を示す斜視図である。

【図9】図8に示す物理セルC(x, y)を透過型セルとして用いる場合において、振幅の情報が溝G(x, y)の幅G1として記録され、位相の情報が溝G(x, y)の深さG2として記録される理由を説明する正面図である。

【図10】図8に示す物理セルC(x, y)を反射型セルとして用いる場合において、振幅の情報が溝G(x, y)の幅G1として記録され、位相の情報が溝G(x, y)の深さG2として記録される理由を説明する正面図である。

【図11】図8に示す物理セルC(x, y)の構造において、7通りの溝幅と、4通りの深さとを定め、合計28通りの物理セルを用意した例を示す斜視図である。

【図12】透過型セルC(x, y)について、各部の屈折率と溝の深さとの関係を示す図である。

【図13】反射型セルC(x, y)について、各部の屈折率と溝の深さとの関係を示す図である。

【図14】本発明に係る光学素子に対して法線方向から再生用照明光を当て、ホログラムとして記録されている物体像を法線方向から観察する基本的な形態を示す側面図である。

【図15】本発明に係る光学素子に対して斜め方向から再生用照明光を当て、ホログラムとして記録されている物体像を法線方向から観察する形態を示す側面図である。

【図16】本発明に係る光学素子に対して法線方向から再生用照明光を当て、ホログラムとして記録されている物体像を斜め方向から観察する形態を示す側面図である。

【図17】図15に示す再生環境に対応した光学素子を作成するために、特定位相の修正処理を行う原理を示す側面図である。

【図18】図16に示す再生環境に対応した光学素子を作成するために、特定位相の修正処理を行う原理を示す

側面図である。

【図19】白色の再生用照明光を用いた再生環境に対応した光学素子を作成するための手法を示す斜視図である

【図20】三次元セルを一次元マトリックス状に配列して三次元仮想セル集合30を構成した例を示す斜視図である。

【符号の説明】

10…物体像（物体）  
 20…記録面（記録媒体）  
 30…三次元仮想セル集合  
 40…光学素子  
 A, Ak, A(x, y)…振幅  
 Ain…入射光の振幅  
 Aout…射出光の振幅  
 C(x, y)…仮想セル／物理セル  
 C(1), C(2), C(3)…細長いセル  
 C1, C2, C3…セルの寸法  
 Ca…本体層  
 Cb…保護層  
 Cα…本体層  
 Cβ…保護層  
 d(x, y)…溝Gの深さ  
 dmax…溝Gの最大深さ  
 d2, d3, d4…光路差  
 E…視点  
 G, G(x, y)…セルに形成された溝  
 G1, G2, G3…溝の寸法

g1, g2, g3…セルのグループ

Ixy…複素振幅の虚数部

i…虚数単位

Lin…入射光

Lout…射出光

Lt…透過型光学素子についての再生用照明光

Lr…反射型光学素子についての再生用照明光

L1~L4, LL1~LL4…光

m1, m2, m3…点光源列

n, n1~n4…屈折率

O, O(1), O(k), O(k)…点光源

O(m1, 1), O(m1, j)…点光源列m1上の点光源

P(x, y), P(x', y')…代表点

P1~P4…光学素子上の点

Q…座標点

R…参照光

Rxy…複素振幅の実数部

r, r1, rk, rK…点光源からの距離

S1…溝G(x, y)の内部の面

S2…溝G(x, y)の外部の面

V1~V4…位相θに応じた行

W1~W7…振幅Aに応じた列

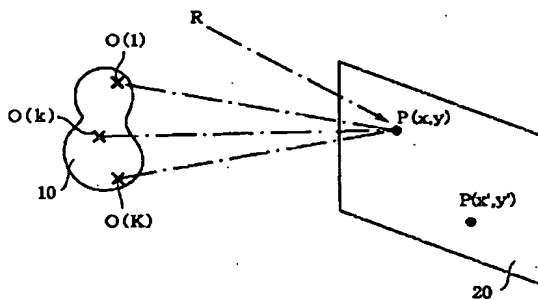
θ, θk, θ(x, y)…位相

θin…入射光の位相

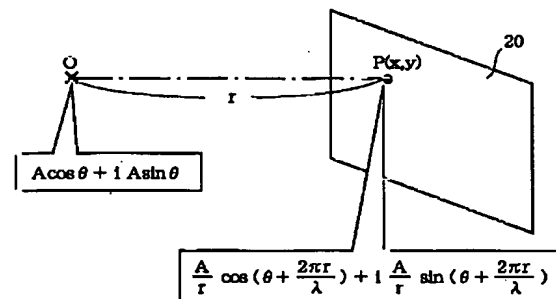
θout…射出光の位相

λ…光の波長

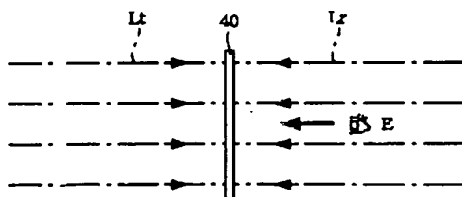
【図1】



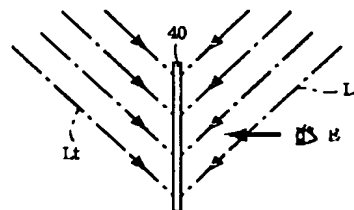
【図2】



【図14】

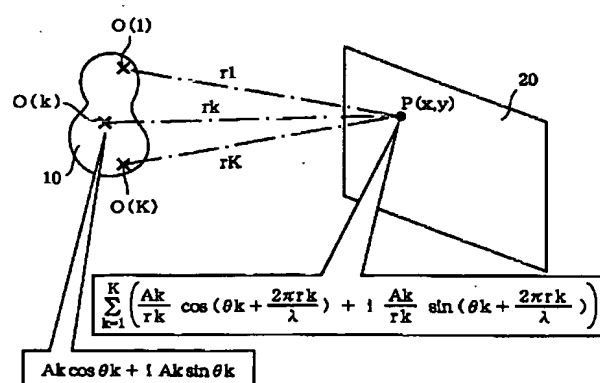


【図15】

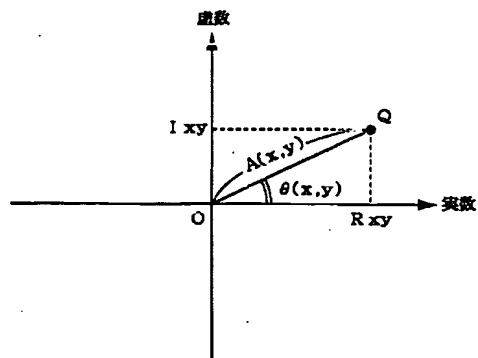




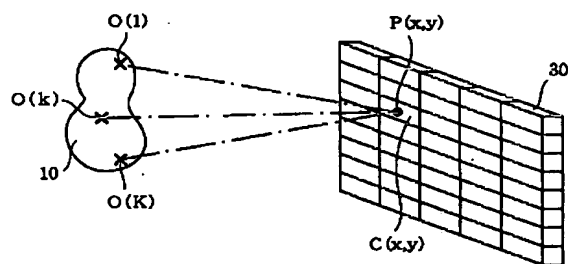
【図3】



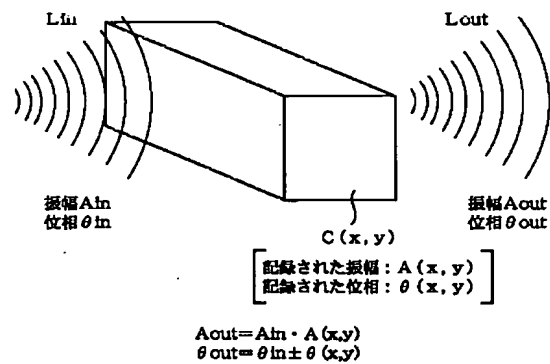
【図4】



















【図5】



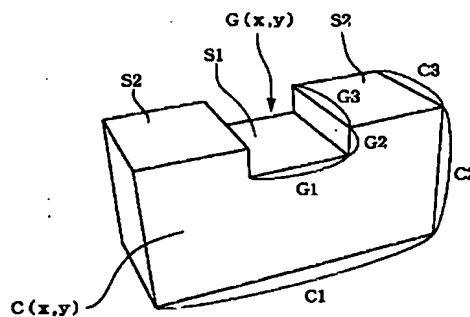
【図6】



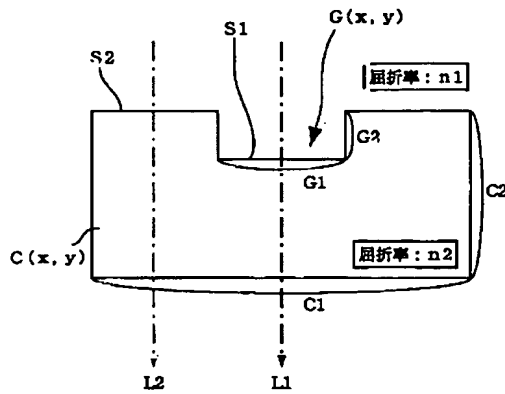
【図7】

		振幅A				
		$A(x,y)$	0~25%	25~50%	50~75%	75~100%
位相 $\theta$	$\theta(x,y)$	0 ~ $\frac{\pi}{2}$	屈折率: n1 	屈折率: n1 	屈折率: n1 	屈折率: n1 
	$\frac{\pi}{2} \sim \pi$	屈折率: n2 	屈折率: n2 	屈折率: n2 	屈折率: n2 	
	$\pi \sim \frac{3}{2}\pi$	屈折率: n3 	屈折率: n3 	屈折率: n3 	屈折率: n3 	
	$\frac{3}{2}\pi \sim 2\pi$	屈折率: n4 	屈折率: n4 	屈折率: n4 	屈折率: n4 	

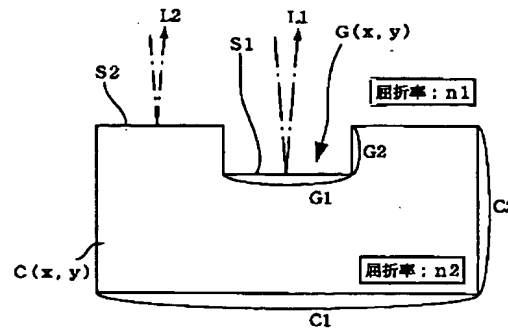
【図8】



【図9】

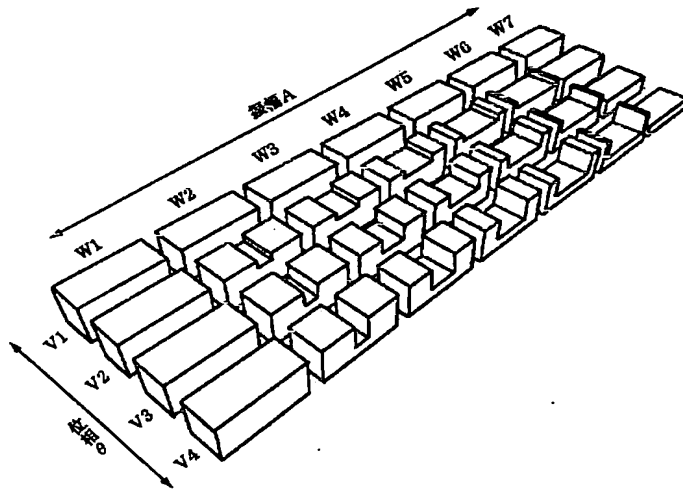


【図10】

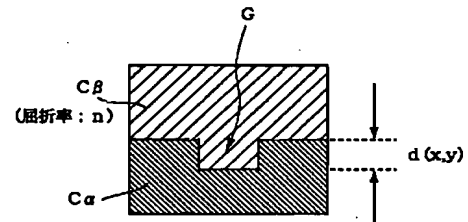


【図13】

【図11】



反射型セル: C(x, y)



○溝Gの最大深さ:  $d_{\max} = \frac{\lambda}{2n}$

○特定のセルC(x, y)についての溝Gの深さ:

$$d(x, y) = \frac{\lambda \cdot \theta(x, y)}{4\pi}$$

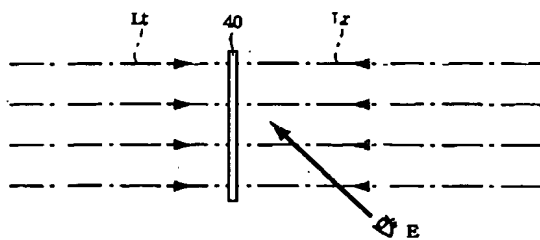
特に、保護層Cβを設けずに空気層とした場合は、 $n=1$ と近似することにより

○溝Gの最大深さ:  $d_{\max} = \frac{\lambda}{2}$

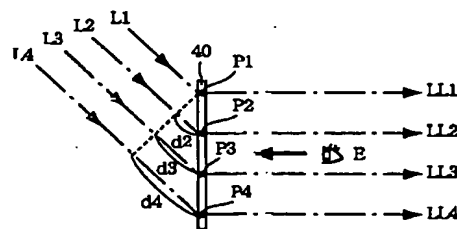
○特定のセルC(x, y)についての溝Gの深さ:

$$d(x, y) = \frac{\lambda \cdot \theta(x, y)}{4\pi}$$

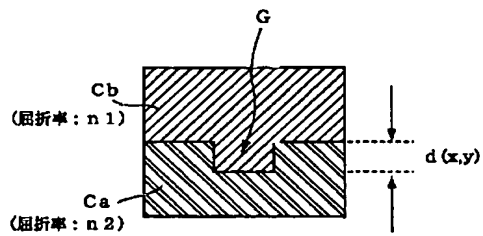
【図16】



【図17】



【図12】

透過型セル:  $C(x,y)$ 

$$\text{○} \text{ 溝 } G \text{ の最大深さ: } d_{\max} = \frac{\lambda}{|n_1 - n_2|}$$

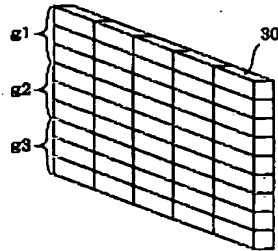
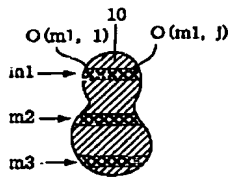
○ 特定のセル  $C(x,y)$  についての溝  $G$  の深さ:(1)  $n_1 > n_2$  の場合

$$d(x,y) = \frac{\lambda \cdot \theta(x,y)}{2(n_1 - n_2)\pi}$$

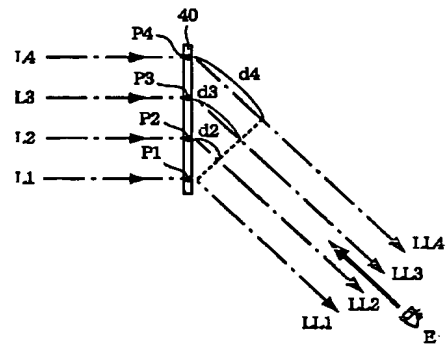
(2)  $n_1 < n_2$  の場合

$$d(x,y) = d_{\max} - \frac{\lambda \cdot \theta(x,y)}{2(n_2 - n_1)\pi}$$

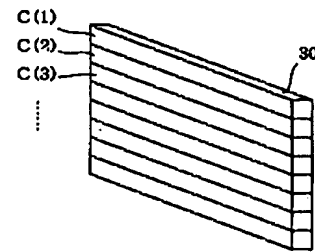
【図19】



【図18】



【図20】



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-072837

(43)Date of publication of application : 12.03.2002

(51)Int.Cl.

G03H 1/26

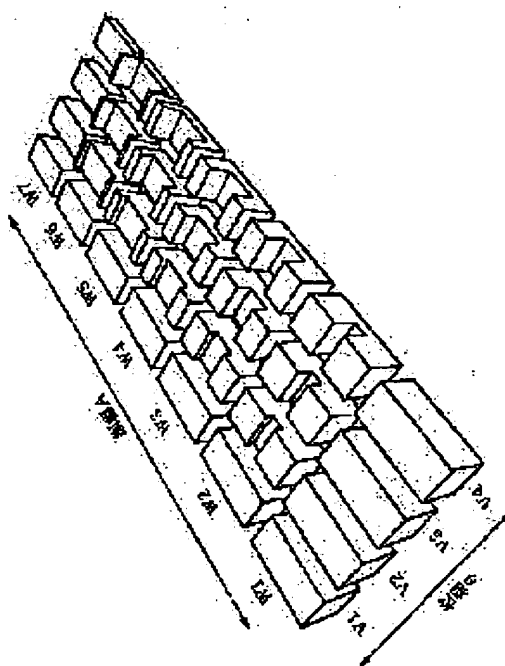
(21)Application number : 2000-265042

(71)Applicant : DAINIPPON PRINTING CO LTD

(22)Date of filing : 01.09.2000

(72)Inventor : KITAMURA MITSURU  
HAMANO TOMOTSUNE

## (54) OPTICAL DEVICE AND ITS MANUFACTURING METHOD



(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a hologram which can obtain high diffraction efficiency when reproduced and has superior productivity.

**SOLUTION:** A computer is used to define an arbitrary object image and a recording surface where representative points are arranged at specific intervals. At the individual representative point positions, complex amplitudes regarding the wavefront of the object light emitted by the object image are computed to find a complex amplitude distribution on the recording surface. This complex amplitude distribution is represented by three-dimensional cells each having a groove on one surface. Four different groove depths are defined according to a phase  $\phi$  and seven different groove widths are defined according to an amplitude  $A$  to prepare 28 three-dimensional cells in total; and one of the 28 three-dimensional cells corresponding to the phase  $\phi$  and amplitude  $A$  of the complex amplitude at each representative point position is arranged at the representative point position. Thus, one of the 28 three-dimensional cells is arranged at each representative point position on the recording

surface to form a hologram recording medium as an assembly of the three-dimensional cells. A reproduced image is obtained by the phase/amplitude modulating function of the groove parts of the respective cells.

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

### \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.  
3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

### [Claim(s)]

[Claim 1] The optical element to which each cel is characterized by to have the specific optical property, respectively so that it may be the optical element which consists of a set of two or more three-dimensions cels, the specific amplitude and a specific phase may be defined as each cel, respectively and the injection light to which the amplitude and phase of said incident light were changed according to the specific amplitude and the specific phase which were defined as the cel concerned when predetermined incident light was given to each cel may be obtained.

[Claim 2] The optical element characterized by having the amplitude modulation section in which each cel had the permeability according to the specific amplitude, respectively in an optical element according to claim 1.

[Claim 3] The optical element characterized by having the amplitude modulation section in which each cel had a reflection factor according to the specific amplitude, respectively in an optical element according to claim 1.

[Claim 4] The optical element characterized by having the amplitude modulation section in which each cel had the effective area according to the specific amplitude, respectively in an optical element according to claim 1.

[Claim 5] The optical element characterized by having the phase modulation section in which each cel had a refractive index according to a specific phase, respectively in an optical element according to claim 1 to 4.

[Claim 6] The optical element characterized by having the phase modulation section in which each cel had the optical path length according to a specific phase, respectively in an optical element according to claim 1 to 4.

[Claim 7] The optical element characterized by having the crevice formed when only the depth according to a specific phase investigated the part in which each cel had the area according to the specific amplitude, respectively in an optical element according to claim 1.

[Claim 8] The optical element characterized by having the heights formed when only the height according to a specific phase upheaved the part in which each cel had the area according to the specific amplitude, respectively in an optical element according to claim 1.

[Claim 9] The optical element characterized by for the field in which each crevice or heights of a cel was formed being a reflector in the optical element according to claim 7 or 8, and becoming injection light when the incident light given to the cel reflects according to this reflector.

[Claim 10] The optical element characterized by consisting of construction material from which it has a wrap protective layer and said body layer and said protective layer differ mutually the field in which the crevice or heights of the body layer in which each cel has a crevice or heights, and this body layer was formed in the optical element according to claim 7 or 8.

[Claim 11] The optical element characterized by the incident light which consists of translucency ingredients which had the refractive index from which a body layer and a protective layer differ mutually in the optical element according to claim 10, and was given to the cel turning into injection light by passing said body layer and said protective layer.

[Claim 12] The optical element characterized by the incident light by which the boundary of a body layer and a protective layer formed the reflector, and was given to the cel in the optical element

according to claim 10 turning into injection light by reflecting according to said reflector.

[Claim 13] The optical element characterized by arranging each cel single dimension-wise or two-dimensional in an optical element according to claim 1 to 12.

[Claim 14] The optical element characterized by being arranged in an optical element according to claim 13 so that the pitch of the lengthwise direction of each cel and a lateral pitch may turn into pitches, such as each.

[Claim 15] The optical element characterized by recording complex amplitude distribution of the body light from the body image concerned, and being able to use as a hologram in an optical element according to claim 1 to 14 so that a body image may be reproduced, when it observes from a predetermined view location.

[Claim 16] The cel definition phase which manufactures the optical element on which the predetermined body image was recorded of being an approach and defining the set of two or more three-dimensions virtual cels, By calculating the complex amplitude in said each representation point location of the representation point definition phase of defining a representation point about each virtual cel, respectively, the body image definition phase of defining the body image which should be recorded, and the body light emitted from said body image The amplitude phase definition phase of defining the specific amplitude and a specific phase as each virtual cel, Each virtual cel is transposed to the physical cel which has a stereo, respectively, and it has the physical cel formation phase which forms the optical element which consists of a set of a three-dimensions physics cel. In said physical cel formation phase So that the injection light to which the amplitude and phase of said incident light were changed according to the specific amplitude and the specific phase which were defined as the virtual cel corresponding to the physical cel concerned may be obtained, if predetermined incident light is given to each physical cel The manufacture approach of the optical element characterized by replacing by the physical cel which has a specific optical property, respectively.

[Claim 17] The manufacture approach of the optical element characterized by defining a cel set in a cel definition phase in the manufacture approach of an optical element according to claim 16 by arranging the virtual cel of the letter of a block single dimension-wise or two-dimensional.

[Claim 18] In the manufacture approach of an optical element according to claim 16 or 17, it sets in an amplitude phase definition phase. The body light which consists of a spherical wave which defined two or more point light sources, and had the predetermined amplitude and a predetermined phase from each point light source on the body image should be emitted. The manufacture approach of the optical element characterized by calculating the sum total complex amplitude of the body light from each point light source in each representation point location in predetermined criteria time of day.

[Claim 19] In the manufacture approach of an optical element according to claim 18, the K point light sources which emit the body light of wavelength  $\lambda$  on a body image are defined. When the amplitude of the body light emitted from the k-th point light source ( $k=1-K$ )  $O(k)$  is set to  $A_k$ , a phase is set to  $\theta_k$  and the predetermined representation point P and k-th distance with point light source  $O(k)$  are set to  $r_k$  the sum total complex amplitude of the body light from the K point light sources in said predetermined representation point P --  $\sum_{k=1-K} (A_k/r_k \cdot \cos(\theta_k \cdot 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \cdot \sin(\theta_k \cdot 2\pi r_k/\lambda))$  -- the manufacture approach of the optical element characterized by asking by count.

[Claim 20] The manufacture approach of the optical element characterized by transposing to the physical cel which has the crevice formed when only the depth according to a specific phase investigates a part with the area [ cel / each / virtual ] according to the specific amplitude in a physical cel formation phase in the manufacture approach according to claim 16 to 19.

[Claim 21] The manufacture approach of the optical element characterized by transposing to the

physical cel which has the heights formed when only the height according to a specific phase upheaves a part with the area [ cel / each / virtual ] according to the specific amplitude in a physical cel formation phase in the manufacture approach according to claim 16 to 19.

[Claim 22] When the refractive index of the matter which constitutes the matter or heights with which the crevice of a physical cel was filled up in the manufacture approach according to claim 20 or 21 is set to  $n_1$ , the refractive index of another matter which touches this is set to  $n_2$  and wavelength of body light is set to  $\lambda$ . The maximum depth of a crevice, or maximum height  $d_{\max}$  of heights Set it as  $d_{\max} = \lambda / |n_1 - n_2|$ , and depth or height  $d$  according to the specific phase  $\theta$  in the case of  $n_1 > n_2$   $d = \lambda - \theta / 2(n_1 - n_2) \pi$  -- count -- being based --  $n_1$  -- < -- in the case of  $n_2$   $d = d_{\max} - \lambda - \theta / 2(n_2 - n_1) \pi$  -- the manufacture approach of the optical element characterized by playback of a body image being performed by the transmitted light which is determined, respectively and penetrates a crevice or heights based on count.

[Claim 23] When the refractive index of the matter which constitutes the matter or heights with which the crevice of a physical cel was filled up in the manufacture approach according to claim 20 or 21 is set to  $n$  and wavelength of body light is set to  $\lambda$ . The maximum depth of a crevice, or maximum height  $d_{\max}$  of heights It is set as  $d_{\max} = \lambda / 2n$ . The manufacture approach of the optical element characterized by playback of a body image being performed by the reflected light which determines depth or height  $d$  according to the specific phase  $\theta$  based on the count  $4n\pi$  [  $d = \lambda - \theta / 4n\pi$  ] Becoming, and is reflected in the interface of a crevice or heights.

[Claim 24] In the manufacture approach according to claim 20 to 23, two or more a kinds of area is defined as an area according to the specific amplitude. Two or more  $b$  kinds of depths or height are defined as the depth according to a specific phase, or height. The manufacture approach of the optical element characterized by the optical property for which the physical cel of a total of  $a \times b$  kinds of classes is prepared for, and each virtual cel is needed among these physical cels transposing to the nearest physical cel.

[Claim 25] The manufacture approach of the optical element characterized by having further the phase correction phase of adding correction to the specific phase by which each virtual cel was defined in the manufacture approach according to claim 16 to 24 in consideration of the sense of the illumination light irradiated at the time of playback, or the view location at the time of playback.

[Claim 26] In the manufacture approach according to claim 16 to 25, it sets in a cel definition phase. Define the cel set which consists a virtual cel of horizontal and a virtual cel arranged on the 2-dimensional matrix by arranging perpendicularly, and it sets in an amplitude phase definition phase. While each defines horizontally elongation and the point light source train of two or more  $M$  individuals arranged perpendicularly mutually on a body image A total of  $M$  groups are defined by making into one group the virtual cel group which belongs to the multi-line which adjoins perpendicularly in said 2-dimensional matrix. As that to which the body light which  $M$  point light source trains and  $M$  groups were made to correspond according to the order of arrangement about a perpendicular direction, and was emitted from the point light source within the  $m$ -th point light source train ( $m=1-M$ ) reaches only the virtual cel which belongs to the  $m$ -th group The manufacture approach of the optical element characterized by calculating sum total complex amplitude in each representation point location.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] About an optical element and its manufacture approach, especially this invention records a stereoscopic model as a hologram, and relates to the optical element which can reproduce this, and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] A stereoscopic model is recorded on a medium, the technique of holography is known as an approach of reproducing this for many years, and the hologram created by this approach is used in various fields, such as an art for admiration, and a seal for forged prevention. The approach of recording the interference fringe of the body light and the reference beam which are emitted from a body on a photosensitive medium as an approach of creating a hologram optically is common. As the light source of body light and a reference beam, the laser beam excellent in the coherency is usually used. Generally, the behavior of electromagnetic waves, such as light, can be regarded as propagation of a wave front with the amplitude and a phase, and a hologram can be said to be an optical element with the function which reproduces such a wave front. Therefore, it is necessary to record the information for reproducing the phase and amplitude of body light in each location of space to accuracy on the record medium of a hologram. If the interference fringe produced by body light and the reference beam is recorded on a photosensitive medium, information including the both sides of the phase of body light and the amplitude can be recorded, and it can observe as a light to which a part of this lighting playback light had a wave front equivalent to body light in this medium by irradiating a lighting playback light equivalent to a reference beam.

[0003] Thus, when creating a hologram by the optical approach using a laser beam etc., the phase and amplitude of body light can be recorded only as an interference fringe with a reference beam. This is because there is a property which the photosensitive medium which records a hologram exposes according to luminous intensity. On the other hand, the technique of creating a hologram is also being put in practical use by the operation using a computer recently. Creation of a hologram is performed by calling this technique the computer hologram (CGH:Computer Generated Hologram), calculating the wave front of body light using a computer, and recording that phase and amplitude on a physical medium by a certain approach. If the technique of this computer hologram is used, of course, it will also become possible to also record an image as an interference fringe of body light and a reference beam, and to record the information about the phase and amplitude of body light on a direct recording surface, without using a reference beam, although it is possible. For example, a recording method with which the magnitude of opening formed on the record medium expresses the amplitude, and a phase is expressed in the location of opening, and a recording method which constitutes a medium from a two-layer recording layer, records the amplitude on one recording layer, and records a phase on another recording layer are proposed.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Generally, the approach of recording an image as an interference fringe currently widely performed as the optical hologram creation approach can acquire a reconstruction image with high resolution, and since it can perform by the optical approach, although there is a merit that productivity is high, since the diffraction efficiency by the interference fringe at the time of playback is bad, it has the problem that an image becomes dark. On the other hand, although the approach of recording directly the phase and amplitude of the body light proposed as a way method of a computer hologram on a medium has the merit that high diffraction efficiency can be acquired, it is technically difficult to record a phase and the amplitude on a medium, and has practically the problem that productivity falls.



[0005] Then, this invention can acquire high diffraction efficiency at the time of playback, and aims at offering the optical element which was moreover excellent in productivity.

[0006]

[Means for Solving the Problem] The 1st mode of this invention constitutes an optical element by the set of two or more three-dimensions cels. (1) In each cel So that the injection light to which the amplitude and phase of incident light were changed according to the specific amplitude and the specific phase which were defined as the cel concerned may be obtained, if the specific amplitude and a specific phase are defined, respectively and predetermined incident light is given to each cel It is made for each cel to have a specific optical property, respectively.

[0007] (2) the 2nd mode of this invention -- the 1st above-mentioned voice -- make it have the amplitude modulation section in which each cel had the permeability according to the specific amplitude, respectively in the optical element which starts like

[0008] (3) the 3rd mode of this invention -- the 1st above-mentioned voice -- make it have the amplitude modulation section in which each cel had a reflection factor according to the specific amplitude, respectively in the optical element which starts like

[0009] (4) the 4th mode of this invention -- the 1st above-mentioned voice -- make it have the amplitude modulation section in which each cel had the effective area according to the specific amplitude, respectively in the optical element which starts like

[0010] (5) the 5th mode of this invention -- the above-mentioned 1st - the 4th voice -- make it have the phase modulation section in which each cel had a refractive index according to a specific phase, respectively in the optical element which starts like

[0011] (6) the 6th mode of this invention -- the above-mentioned 1st - the 4th voice -- make it have the phase modulation section in which each cel had the optical path length according to a specific phase, respectively in the optical element which starts like

[0012] (7) the 7th mode of this invention -- the 1st above-mentioned voice -- make it have the crevice formed when only the depth according to a specific phase investigated the part in which each cel had the area according to the specific amplitude, respectively in the optical element which starts like

[0013] (8) the 8th mode of this invention -- the 1st above-mentioned voice -- make it have the heights formed when only the height according to a specific phase upheaved the part in which each cel had the area according to the specific amplitude, respectively in the optical element which starts like

[0014] (9) the 9th mode of this invention -- the 7th or 8th above-mentioned voice -- make into a reflector the field in which each crevice or heights of a cel was formed, and when the incident light given to the cel reflects according to this reflector, make it become injection light in the optical element which starts like

[0015] (10) the 10th mode of this invention -- the 7th or 8th above-mentioned voice -- in the optical element which starts like, it has a wrap protective layer and the field in which the crevice or heights of the body layer in which each cel has a crevice or heights, and this body layer was formed consists of construction material from which a body layer and a protective layer differ mutually.

[0016] (11) the 11th mode of this invention -- the 10th above-mentioned voice -- constitute from a translucency ingredient with a refractive index which is mutually different in a body layer and a protective layer, and make it the incident light given to the cel turn into injection light by passing a body layer and a protective layer in the optical element which starts like

[0017] (12) the 12th mode of this invention -- the 10th above-mentioned voice -- make the boundary of a body layer and a protective layer into a reflector, and make it the incident light given to the cel turn into injection light by reflecting according to this reflector in the optical element which starts like

[0018] (13) the 13th mode of this invention -- the above-mentioned 1st - the 12th voice -- arrange each

cel single dimension-wise or two-dimensional in the optical element which starts like.

[0019] (14) the 14th mode of this invention -- the 13th above-mentioned voice -- make it arrange in the optical element which starts like, so that the pitch of the lengthwise direction of each cel and a lateral pitch may turn into pitches, such as each

[0020] (15) the 15th mode of this invention -- the above-mentioned 1st - the 14th voice -- when it observes from a predetermined view location, record complex amplitude distribution of the body light from the body image concerned, and enable it to use as a hologram in the optical element which starts like, so that a body image may be reproduced

[0021] (16) In the approach the 16th mode of this invention manufactures the optical element on which the predetermined body image was recorded The cel definition phase of defining the set of two or more three-dimensions virtual cels, and the representation point definition phase of defining a representation point about each virtual cel, respectively, By calculating the complex amplitude in each representation point location of the body image definition phase of defining the body image which should be recorded, and the body light emitted from the body image The amplitude phase definition phase of defining the specific amplitude and a specific phase as each virtual cel, Each virtual cel is transposed to the physical cel which has a stereo, respectively, and the physical cel formation phase which forms the optical element which consists of a set of a three-dimensions physics cel is performed. In a physical cel formation phase So that the injection light to which the amplitude and phase of incident light were changed according to the specific amplitude and the specific phase which were defined as the virtual cel corresponding to the physical cel concerned may be obtained, if predetermined incident light is given to each physical cel It is made to replace by the physical cel which has a specific optical property, respectively.

[0022] (17) the 17th mode of this invention -- the 16th above-mentioned voice -- be made to define a cel set by arranging the virtual cel of the letter of a block single dimension-wise or two-dimensional in a cel definition phase in the manufacture approach of the optical element which starts like.

[0023] (18) In the manufacture approach of the optical element which starts like the 18th mode of this invention -- the 16th or 17th above-mentioned voice -- The body light which consists of a spherical wave which defined two or more point light sources, and had the predetermined amplitude and a predetermined phase from each point light source on the body image in the amplitude phase definition phase should be emitted. In predetermined criteria time of day, the sum total complex amplitude of the body light from each point light source in each representation point location is calculated.

[0024] (19) In the manufacture approach of the optical element which starts like the 19th mode of this invention -- the 18th above-mentioned voice -- The amplitude of the body light which defines the K point light sources which emit the body light of wavelength  $\lambda$  on a body image, and is emitted from the k-th point light source ( $k=1-K$ )  $O(k) A_k$ , When a phase is set to  $\theta_k$  and the predetermined representation point P and k-th distance with point light source  $O(k)$  are set to  $r_k$  the sum total complex amplitude of the body light from the K point light sources in the predetermined representation point P --  $\sum_{k=1-K} (A_k/r_k \cos(\theta_k \cdot 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \sin(\theta_k \cdot 2\pi r_k/\lambda))$  -- it is made to ask by count

[0025] (20) the 20th mode of this invention -- the above-mentioned 16th - the 19th voice -- make it transpose to the physical cel which has the crevice formed when only the depth according to a specific phase investigates a part with the area [ cel / each / virtual ] according to the specific amplitude in a physical cel formation phase in the manufacture approach of the optical element which starts like

[0026] (21) the 21st mode of this invention -- the above-mentioned 16th - the 19th voice -- make it transpose to the physical cel which has the heights formed when only the height according to a specific phase upheaves a part with the area [ cel / each / virtual ] according to the specific amplitude in a

physical cel formation phase in the manufacture approach of the optical element which starts like [0027] (22) In the manufacture approach of the optical element which starts like the 22nd mode of this invention -- the 20th or 21st above-mentioned voice -- When the refractive index of the matter which constitutes the matter or heights with which the crevice of a physical cel was filled up is set to  $n_1$ , the refractive index of another matter which touches this is set to  $n_2$  and wavelength of body light is set to  $\lambda$ . The maximum depth of a crevice, or maximum height  $d_{\max}$  of heights Set it as  $d_{\max} = \lambda / |n_1 - n_2|$ , and depth or height  $d$  according to the specific phase  $\theta$  in the case of  $n_1 > n_2$   $d = \lambda - \theta / 2(n_1 - n_2) \pi$  -- count -- being based --  $n_1 < n_2$  -- the case of  $n_2$  --  $d = d_{\max} - \lambda - \theta / 2(n_2 - n_1) \pi$  -- based on count, it determines, respectively and playback of a body image is made to be performed by the transmitted light which penetrates a crevice or heights.

[0028] (23) In the manufacture approach of the optical element which starts like the 23rd mode of this invention -- the 20th or 21st above-mentioned voice -- When the refractive index of the matter which constitutes the matter or heights with which the crevice of a physical cel was filled up is set to  $n$  and wavelength of body light is set to  $\lambda$ . The maximum depth of a crevice, or maximum height  $d_{\max}$  of heights It is set as  $d_{\max} = \lambda / 2n$ . Depth or height  $d$  according to the specific phase  $\theta$  is determined based on the count  $4n\pi$  [  $d = \lambda - \theta / 4n\pi$  ] Becoming, and playback of a body image is made to be performed by the reflected light reflected in the interface of a crevice or heights.

[0029] (24) In the manufacture approach of the optical element which starts like the 24th mode of this invention -- the above-mentioned 20th - the 23rd voice -- Define two or more a kinds of areas as an area according to the specific amplitude, and two or more b kinds of depths or height are defined as the depth according to a specific phase, or height. The physical cel of a total of  $a \times b$  kinds of classes is prepared, and it is made for the optical property for which each virtual cel is needed among these physical cels to transpose to the nearest physical cel.

[0030] (25) the 25th mode of this invention -- the above-mentioned 16th - the 24th voice -- be made to perform the phase correction phase of adding correction to the specific phase by which each virtual cel was defined further in the manufacture approach of the optical element which starts like in consideration of the sense of the illumination light irradiated at the time of playback, or the view location at the time of playback.

[0031] (26) In the manufacture approach of the optical element which starts like the 26th mode of this invention -- the above-mentioned 16th - the 25th voice -- In a cel definition phase a virtual cel horizontal and by arranging perpendicularly While the cel set which consists of a virtual cel arranged on the 2-dimensional matrix is defined and each defines horizontally elongation and the point light source train of two or more  $M$  individuals arranged perpendicularly mutually on a body image in an amplitude phase definition phase A total of  $M$  groups are defined by making into one group the virtual cel group which belongs to the multi-line which adjoins perpendicularly in a 2-dimensional matrix. As that to which the body light which  $M$  point light source trains and  $M$  groups were made to correspond according to the order of arrangement about a perpendicular direction, and was emitted from the point light source within the  $m$ -th point light source train ( $m=1-M$ ) reaches only the virtual cel which belongs to the  $m$ -th group It is made to calculate sum total complex amplitude in each representation point location.

[0032]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, it explains based on the operation gestalt illustrating this invention.

[0033] \*\*1. Basic principle drawing 1 of this invention is the perspective view showing the technique of the general holography which records a body image as an interference fringe optically using a reference beam. When recording the stereoscopic model of a body 10 on a record medium 20, a body

10 will be illuminated with the light (usually laser beam) of the same wavelength as a reference beam R, and the interference fringe formed on a record medium 20 of the body light and the reference beam R from a body 10 will be recorded. When the point P (x y) of the arbitration which defines XY system of coordinates on a record medium 20, and is here located in a coordinate (x y) is noted, at this point P (x y) The amplitude reinforcement of each point [ on a body 10 ] O (1), O (2), --, O (k), --, the synthetic wave by interference with each body light from O (K) and a reference beam R will be recorded. Although the amplitude reinforcement of the synthetic wave by interference with the body light from each point and a reference beam R is similarly recorded on another point P on a record medium 20 (x', y'), since the propagation distance of light differs, it differs from the amplitude reinforcement recorded on Point P (x y), and the amplitude reinforcement recorded on Point P (x', y'). Thus, on the record medium 20, amplitude intensity distribution will be recorded and the amplitude and phase of body light will be expressed by these amplitude intensity distribution. At the time of playback, the solid reconstruction image of a body 10 is acquired by irradiating the playback illumination light of the same wavelength as a reference beam R from the same direction (or direction which becomes symmetrical with a field about a record medium 20) as a reference beam R.

[0034] By the optical approach, in order to record an interference fringe on a record medium 20, a photosensitive ingredient will be used as a record medium 20, and an interference fringe will be recorded as a shade pattern on a record medium 20. What is necessary is on the other hand, just to carry out simulation of the phenomenon produced in the optical system shown in this drawing 1 on a computer, in using the technique of a computer hologram. Instead of [ actual ] a body 10 or a record medium 20, the body image 10 and a recording surface 20 are defined in the virtual three-dimensions space on a computer, and, specifically, point light source [ much ] O (1), O (2), --, O (k), --, O (K) are defined on the body image 10. And body light (spherical wave) with predetermined wavelength, the amplitude, and a phase is defined about each point light source, and a reference beam with the same wavelength as this body light is defined further. On the other hand, many representation points P (x y) are defined on a recording surface 20, and it asks for the amplitude reinforcement of the synthetic wave of the body light and the reference beam which reach in the location of each representation point by the operation. In this way, on a recording surface 20, since amplitude intensity distribution (interference fringe) can be found by the operation, if these amplitude intensity distribution are recorded as shade distribution or concavo-convex distribution on a physical record medium, a physical hologram record medium can be created.

[0035] But if the technique of a computer hologram is used, it is also possible for it not to be necessary to necessarily record as an interference fringe using a reference beam R, and to record the body light from the body image 10 itself on a recording surface 20 directly. That is, when creating a hologram optically, on the record medium 20 which consists of a photosensitive ingredient, an interference wave is generated over fixed time amount required for sensitization, and this must be recorded as an interference fringe. For this reason, it is necessary to generate the interference wave which turns into a standing wave using a reference beam. However, if the technique of a computer hologram is used, time amount can be made to be able to stand it still, the condition of the wave of a certain flash which exists on a recording surface 20 can be observed, and this can be recorded. If another word is carried out, it can ask for the amplitude and phase of body light in each representation point location on the recording surface 20 in predetermined criteria time of day by the operation. In this invention, the technique of recording the amplitude and phase of body light directly is taken, without taking the technique of recording body light as an interference fringe with a reference beam taking advantage of the advantage of such a computer hologram.

[0036] As shown in the perspective view of now, for example, drawing 2, when the point light source

O and a recording surface 20 are defined, I will consider how the amplitude and phase of the body light which reached the representation point P on a recording surface 20 (x y) are calculated. Generally, the wave motion in consideration of the amplitude and a phase is  $A \cos \theta + i A \sin \theta$ . It is expressed by the function of complex variable  $A e^{i \theta}$ .  $A$  is the parameter which shows the amplitude here and  $\theta$  is the parameter which shows a phase. Then, the body light in the location of the representation point P (x y) if the above-mentioned function of complex variable defines the body light emitted from the point light source O is  $A/r \cos(\theta + 2\pi r/\lambda) + i A/r \sin(\theta + 2\pi r/\lambda)$

It is expressed with the becoming function of complex variable. Here,  $r$  is the distance of the point light source O and the representation point P (x y), and  $\lambda$  is the wavelength of body light. The amplitude of body light is decreased as distance  $r$  becomes large, and a phase is determined by the relation between distance  $r$  and wavelength  $\lambda$ . Although the close variable which shows time amount is not in this function of complex variable, this is because it is the formula showing the instantaneous state of the wave observed when time amount is made to stand it still in predetermined criteria time of day as mentioned above.

[0037] After all, in order to record the information on the body image 10 on a recording surface 20 Define point light source [ much ] O (1), O (2), --, O (k), --, O (K) on the body image 10, and it sets in each representation point location on a recording surface 20 as shown in the perspective view of drawing 3. What is necessary is to ask for the amplitude and phase of a synthetic wave of body light which are emitted from each point light source by the operation, and just to record this by a certain approach. It is  $A_k$ , as a total of K point light sources are defined on the body image 10 and the body light emitted from the k-th point light source O (k) shows now drawing 3.  $A_k \cos \theta_k + i A_k \sin \theta_k$  is expressed with the function of complex variable which becomes  $e^{i \theta_k}$ . If it consisted of sets of a pixel whose body images 10 had a predetermined gradation value (concentration value), respectively, the parameter  $A_k$  which shows the amplitude is defined corresponding to the gradation value of the pixel which exists in the location of concerned point light source O (k). It is also possible for phase  $\theta_k$  to perform setting out which is having the body light of a phase which is generally different from each part of the body image 10 if needed although becoming setting out is sufficient  $\theta_k = 0$  emitted. all -- if the body light expressed with the above-mentioned function of complex variable, respectively is defined about the K point light sources, it can set in the location of the representation point P of the arbitration on a recording surface 20 (x y) -- all -- the synthetic wave of K body light is shown in drawing 3 -- as --  $\sum_{k=1}^K (A_k/r_k \cos(\theta_k + 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \sin(\theta_k + 2\pi r_k/\lambda))$

It will be expressed by the becoming function of complex variable. Here,  $r_k$  is the distance of the k-th point light source O (k) and representation point P (x y). In addition, an above-mentioned formula is equivalent to the formula in the case of reproducing the body image 10 in the inner part of a record medium. It is  $\sum_{k=1}^K (A_k/r_k \cos(\theta_k - 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \sin(\theta_k - 2\pi r_k/\lambda))$

What is necessary is just to calculate a function of complex variable by the becoming formula (the sign of the term of a phase is negative). Therefore, the function of complex variable in consideration of both cases is  $\sum_{k=1}^K (A_k/r_k \cos(\theta_k \pm 2\pi r_k/\lambda) + i A_k/r_k \sin(\theta_k \pm 2\pi r_k/\lambda))$

It becomes. If it is made the form which becomes  $R_{xy} + i I_{xy}$  by setting imaginary part to  $I_{xy}$ , setting real part of this function as  $R_{xy}$ , the complex amplitude (amplitude in consideration of a phase) in the location of the representation point P of this synthetic wave (x y) will be shown by the coordinate point Q on a complex coordinate plane as shown in drawing 4. The amplitude of the body photosynthesis wave in the representation point P (x y) will be given after all in the distance A of the Zero O and the

coordinate point Q in the coordinate plane shown in drawing 4 (x y), and a phase will be given at the include angle theta of Vector OQ and a real number shaft (x y) to make.

[0038] In this way, the amplitude A (x y) and phase theta (x y) of a body photosynthesis wave in the representation point P (x y) location of the arbitration defined on the recording surface 20 will be called for by count. Therefore, on a recording surface 20, complex amplitude distribution (amplitude of a body photosynthesis wave and distribution of a phase) of the body light \*\*\*\*(ed) from the body image 10 is acquired. In this way, if the wave front of body light is reproduced when the acquired complex amplitude distribution is recorded on a physical record medium in a certain form and the predetermined playback illumination light is given, the body image 10 can be recorded as a hologram.

[0039] The invention-in-this-application person hit on an idea of the approach of using a three-dimensions cel, in order to record complex amplitude distribution of the body light emitted from the body image 10 on a recording surface 20. What is necessary is just to perform the following procedures, in order to record complex amplitude distribution using a three-dimensions cel and to record the body image 10 as a hologram. First, for example, as shown in drawing 5 , the three-dimensions virtual cel set 30 is defined as the location of a recording surface 20. This three-dimensions virtual cel set 30 arranges a cel two-dimensional by putting the virtual cel of the letter of a block with a predetermined dimension in order in all directions. And a representation point is defined about each virtual cel, respectively. Although one point of the arbitration in a cel is available for the location of a representation point, it is made to define the representation point of the cel concerned as the central point location of the front face of a cel (field which faced the body image 10) here. For example, XY system of coordinates are defined as the front face (field which faced the body image 10) of the three-dimensions virtual cel set 30, and if a virtual cel with the representation point P (x y) in the location of the coordinate (x y) in these system of coordinates is made to call it the virtual cel C (x y), the representation point P (x y) will come to the central point of the front face of this virtual cel C (x y).

[0040] On the other hand, the body image 10 is defined as a set of the point light source. The body image 10 is defined by the example shown in drawing 5 as K sets of point light source O (1), O (2), --, O (k), --, O (K). From these each point light source, the body light which had the predetermined amplitude and a predetermined phase, respectively will be emitted, and the synthetic wave of these bodies light will reach the representation point P (x y). The complex amplitude of this synthetic wave can be calculated by the formula mentioned above, and is shown as a coordinate point Q in the complex coordinate plane shown in drawing 4 , and it is as having already stated that the amplitude A (x y) and a phase theta (x y) are obtained based on this coordinate point Q. Here, the amplitude A (x y) obtained about the representation point P (x y) and a phase theta (x y) will be called the specific amplitude A (x y) about the virtual cel C (x y) including the representation point P concerned (x y), and the specific phase theta (x y).

[0041] The above procedure will be actually performed as data processing which used the computer. After all, it can ask for the specific amplitude and a specific phase by this data processing, respectively about all the virtual cels that constitute the three-dimensions virtual cel set 30. Then, if the virtual cel of these each is transposed to the physical cel which has a stereo, respectively, the optical element (hologram record medium with which the body image 10 was recorded) which consists of a set of a three-dimensions physics cel can be created. Here, the physical cel replaced with a virtual cel needs to have the optical property which can modulate the amplitude and phase of incident light according to the specific amplitude and the specific phase which are defined as the virtual cel. If another word is carried out, each replaced physical cel needs to have the specific optical property with the function which produces injection light by changing the amplitude and phase of this incident light according to the specific amplitude and the specific phase which were defined as the virtual cel before a

permutation, when predetermined incident light is given.

[0042] If the predetermined illumination light for playback (homogeneous-light plane wave with the ideally same wavelength as the body light wave length  $\lambda$  who used in the above-mentioned data processing) is irradiated to the optical element which consists of a set of a physical cel with such a specific optical property, since the illumination light for playback is modulated by the specific amplitude and the specific phase, the wave front of the body light of a basis will be reproduced in each physical cel. In this way, the hologram currently recorded on this optical element will be reproduced.

[0043] \*\*2. Describe the concrete configuration of a physical cel, then the concrete configuration of the physical cel used for this invention. The physical cel used for this invention may be a solid cel of three dimensions, and as long as it has the specific optical property that the injection light to which the amplitude and phase of incident light were changed according to the specific amplitude and the specific phase which the specific amplitude and a specific phase were defined, respectively, and were defined as the cel concerned when predetermined incident light was given to each cel is obtained, the cel of what kind of configuration is sufficient as it. For example, it is supposed about the three-dimensions cel  $C(x, y)$  as shown in drawing 6 that the amplitude  $A(x, y)$  and a phase  $\theta(x, y)$  were recorded. this cel -- the amplitude  $A_{in}$  and phase  $\theta_{in}$  -- the case where incident light  $L_{in}$  is given -- amplitude  $A_{out} = A_{in} \cdot A(x, y)$  and phase  $\theta_{out} = \theta_{in} + \theta(x, y)$  -- injection light  $L_{out}$  What is necessary is just to make it obtained. The amplitude  $A_{in}$  of incident light receives the modulation by the specific amplitude  $A(x, y)$  currently recorded on the cel, and is amplitude  $A_{out}$ . Phase  $\theta_{in}$  of incident light receives the modulation by the specific phase  $\theta(x, y)$  currently recorded on the cel by changing, and it is phase  $\theta_{out}$ . It means changing.

[0044] The one approach of modulating the amplitude in a three-dimensions cel is an approach of preparing the amplitude modulation section which had the permeability according to the specific amplitude in the cel (the whole cel may be used as the amplitude modulation section, and you may make it prepare the amplitude modulation section in a part of cel). For example, the cel in which permeability had the amplitude modulation section which is  $Z\%$  functions as a cel on which the specific amplitude which becomes  $A(x, y) = Z/100$  is recorded, and when incident light with the amplitude  $A_{in}$  passes along this cel, amplitude modulation will be carried out to injection light with the amplitude which becomes  $A_{out} = A_{in} \cdot Z/100$ . In order to set the permeability of each three-dimensions cel as any value, it can respond by changing the content of a coloring agent, respectively.

[0045] The another approach of modulating the amplitude in a three-dimensions cel is an approach of preparing the amplitude modulation section which had a reflection factor according to the specific amplitude in the cel. For example, the cel in which the reflection factor had the amplitude modulation section which is  $Z\%$  functions as a cel on which the specific amplitude which becomes  $A(x, y) = Z/100$  is recorded, and if incident light with the amplitude  $A_{in}$  reflected and injected in this amplitude modulation section, amplitude modulation will be carried out to injection light with the amplitude which becomes  $A_{out} = A_{in} \cdot Z/100$ . What is necessary is to prepare the reflector in the cel (for this reflector to function as the amplitude modulation section), and just to set the reflection factor of this reflector as any value, in order to set the reflection factor of each three-dimensions cel as any value. Since the rate of the reflected light and the scattered light can specifically be adjusted by changing the surface roughness of a reflector, it becomes possible by adjusting this surface roughness to prepare a cel with the reflection factor of arbitration.

[0046] The still more nearly another approach of modulating the amplitude in a three-dimensions cel is an approach of preparing the amplitude modulation section which had the effective area according to the specific amplitude in the cel. For example, the cel with the amplitude modulation section which consists of structure with which a injection light effective in playback of a body image is obtain only

from the incident light which carried out incidence to the part with Z% of effective area of these when area of all the incidence fields of incident light was made into 100% functions as a cel on which the specific amplitude which becomes  $A(x, y) = Z / 100$  is record. That is, since only Z% of light of them will go away as an effective injection light even if incident light with the amplitude  $A_{in}$  carries out incident light to this amplitude modulation section, it means that amplitude modulation was carried out to injection light with the amplitude which becomes  $A_{out} = A_{in} - Z/100$ . What is necessary is just to use a cel with physical concavo-convex structure, in order to obtain an effective injection light only from a field part with such a specific effective area. The example is explained in Section3.

[0047] On the other hand, the one approach of modulating a phase in a three-dimensions cel is an approach of preparing the phase modulation section which had a refractive index according to a specific phase in the cel (the whole cel may be used as the phase modulation section, and you may make it prepare the phase modulation section in a part of cel). For example, in a cel with the phase modulation section which a refractive index becomes from the ingredient of  $n_1$ , and a cel with the phase modulation section which a refractive index becomes from the ingredient of  $n_2$ , even if it gives incident light with the same phase, a difference will arise in the phase of injection light, respectively. Therefore, if a cel is constituted from various ingredients with which refractive indexes differ, it will become possible to perform the phase modulation of arbitration to incident light.

[0048] The another approach of modulating a phase in a three-dimensions cel is an approach of preparing the phase modulation section which had the optical path length according to a specific phase in the cel (the whole cel may be used as the phase modulation section, and you may make it prepare the phase modulation section in a part of cel). For example, if the optical path lengths of this phase modulation section differ even if it is a cel with the phase modulation section which consists of the same ingredient with a refractive index  $n$ , even if it gives incident light with the same phase, a difference will arise in the phase of injection light, respectively. For example, supposing the optical path length of the phase modulation section by whom the optical path length of the phase modulation section prepared in the 1st cel was prepared in  $L$  and the 2nd cel is  $2L$ . Even if incident light with the same phase is given, since the distance which progressed the inside of the ingredient in which the injection light from the 2nd cel had a refractive index  $n$  compared with the injection light from the 1st cel doubles, so big phase contrast will have arisen. What is necessary is just to use a cel with physical concavo-convex structure, in order to realize the phase modulation section with the optical path length of arbitration. The example is explained in Section3.

[0049] Thus, a three-dimensions cel with the amplitude modulation function based on the specific amplitude and the three-dimensions cel with the phase modulation function based on a specific phase can be realized by some approaches, and the optical element concerning this invention can be realized by choosing the approach of arbitration from among some amplitude modulation approaches mentioned above and the phase modulation approach. The approach of preparing the amplitude modulation section which had the permeability according to the specific amplitude in the cel as the amplitude modulation approach is taken. For example, as the phase modulation approach If the approach of preparing the phase modulation section with the refractive index according to a specific phase is taken and the whole cel is used as the amplitude modulation section and the phase modulation section into a cel, an optical element can be formed by arranging selectively 16 kinds of physical cels as shown in the table of drawing 7. The axis of abscissa of this table supports to the amplitude  $A$ , the axis of ordinate supports the phase  $\theta$ , and the amplitude  $A$  and a phase  $\theta$  are divided into four range.

[0050] The cel (cel of eye the 1st train of a table) in which the amplitude  $A$  was drawn on a range corresponding to "0 - 25%" here Are the cel which permeability becomes from a very low ingredient,



and the amplitude A the cel (cel of eye the 2nd train of a table) drawn on a range corresponding to "25 - 50%" Are the cel which transmission becomes from a little low ingredient, and the amplitude A the cel (cel of eye the 3rd train of a table) drawn on a range corresponding to "50 - 75%" It is the cel which permeability becomes from a little high ingredient, and the cel (cel of eye the 4th train of a table) drawn on a range corresponding to "75 - 100%" in the amplitude A is a cel which permeability becomes from a very high ingredient. On the other hand, the cel (cel of the 1st line of a table) in which the phase theta was drawn on a range corresponding to "0 -  $\pi/2$ " Are the cel which consists of an ingredient with the refractive index  $n_1$  very near air, and the cel (cel of the 2nd line of a table) in which the phase theta was drawn on a range corresponding to " $\pi/2 - \pi$ " Are the cel which consists of an ingredient with a little larger refractive index  $n_2$  than air, and the cel (cel of the 3rd line of a table) in which the phase theta was drawn on a range corresponding to " $\pi - 3\pi/2$ " It is the cel which consists of an ingredient with the quite larger refractive index  $n_3$  than air, and the cel (cel of the 4th line of a table) in which the phase theta was drawn on a range corresponding to " $3\pi/2 - 2\pi$ " is a cel which consists of an ingredient with the very larger refractive index  $n_4$  than air.

[0051] Thus, what is necessary is to set up the step of permeability and a refractive index still more finely, and just to prepare the cel of an a large number class more, in order to record the amplitude and a phase on a cel in a higher precision although a total of 16 cels with four kinds of permeability and four kinds of refractive indexes are prepared in the example shown in drawing 7 . What is necessary is just to choose the physical cel which has an optical property nearest to the optical property needed in order to perform the modulation by the specific amplitude and the specific phase which were defined as each virtual cel, in order to replace a virtual cel using 16 kinds of such physical cels.

[0052] \*\*3. practical \*\*\*\* of a physical cel -- as already stated, as long as the physical cel used for this invention is a cel with the function which modulates incident light according to the specific amplitude and a specific phase, it may be realized with what kind of configuration. The example which controls the modulation according to the specific amplitude by permeability, and controls the modulation according to a specific phase by the refractive index is shown in drawing 7 . Thus, if it takes into consideration mass-producing them industrially theoretically although many kinds of approaches of modulating the amplitude and a phase exist, it can not necessarily be said that no approaches are practical. In order to reproduce a body image with a certain amount of resolution using the optical element concerning this invention, the dimension of each three-dimensions cel must be restricted to some extent to below (if a cel dimension is set to 100 micrometers or more, playback of a body image with sufficient visibility is roughly difficult for a word). Therefore, when creating an optical element combining 16 kinds of physical cels shown in drawing 7 , the activity which arranges a minute cel two-dimensional as components is needed, and it is necessary to arrange the specific cel of 16 kinds of cels in a specific location moreover. Considering such an activity, it turns out that the approach of constituting an optical element using a physical cel as shown in drawing 7 is not suitable for industrial mass production.

[0053] An invention-in-this-application person can give the information on the amplitude and a phase to one physical cel. By and the set of such a physical cel The approach of giving concavo-convex structure to each physical cel as an approach of constituting the optical element suitable for industrial mass production, recording the information on the amplitude as an area for this concavo-convex structured division, and recording the information on a phase as level difference length for the concavo-convex structured division (depth of a crevice or height of heights) was thought out.

[0054] It is the perspective view showing an example of the structure of the physical cel C (x y) considered that drawing 8 is the the best for using for this invention. As the graphic display, this three-dimensions physics cel is carrying out the letter of a block of a rectangular parallelepiped mostly, and

Slot G (x y) is formed in that top face. In this example, the dimensions of the physical cel C (x y) are 1= 0.6 micrometers of C, 2= 0.25 micrometers of C, and 3= 0.25 micrometers of C in drawing, and the dimensions of Slot G (x y) are G1=0.2micrometer, G2=0.05micrometer, and 3= 0.25 micrometers of G3=C. If the physical cel C with such structure (x y) is used, the information on the amplitude can be recorded as a value of the width of face G1 of the longitudinal direction of Slot G (x y), and the information on a phase can be recorded as a value of the depth G2 of Slot G (x y). If another word is carried out, in case the virtual cel by which the specific amplitude and a specific phase were defined will be replaced in a physical cel with such structure, the replacement by the physical cel which has the dimension G1 according to the specific amplitude, and has the dimension G2 according to a specific phase will be performed.

[0055] In the physical cel shown in this drawing 8, I will explain the reason which is recorded as width of face G1 of information fang furrow G (x y) of the amplitude, and is recorded as the depth G2 of information fang furrow G (x y) of a phase with reference to the front view of drawing 9 . Now, it shall consist of matter in which this physical cel C (x y) had a refractive index n2, and shall consist of matter (for example, air) in which the outside of this physical cel C (x y) had a refractive index n1. The light L1 which carried out incidence at right angles to the field S1 inside Slot G (x y) at this time, When the optical path length who passes through the inside of the medium of a refractive index n2 is compared about the light L2 which carried out incidence at right angles to the field S2 of the exterior of Slot G (x y), it turns out that the optical path lengths of light L1 become short rather than the optical path length of light L2 only in the part of the depth G2 of Slot G (x y). Therefore, if refractive indexes n1 and n2 differ, between the light L1 and light L2 which are injected as the transmitted light, predetermined phase contrast will arise from the physical cel C (x y).

[0056] On the other hand, drawing 10 is the front view showing the case where injection light is obtained as the reflected light from the physical cel C (x y). In this example, the top face S1 and S2 of the physical cel C (x y), i.e., fields, is a reflector, and the light L1 which carried out incidence almost at right angles to the field S1 inside Slot G (x y), and the light L2 which carried out incidence almost at right angles to the field S2 of the exterior of Slot G (x y) will reflect almost at right angles to each field, respectively, and will inject. When all the optical path lengths in alignment with the path of incidence and an echo are compared at this time, only the part by which the optical path lengths of light L1 correspond the twice of the depth G2 of Slot G (x y) rather than the optical path length of light L2 is known by becoming long. Therefore, between the light L1 and light L2 which are injected as the reflected light, predetermined phase contrast will arise from the physical cel C (x y).

[0057] Thus, even if the physical cel C (x y) is a cel of a transparency mold and it is the cel of a reflective mold Between the light L1 which carried out incidence to the field S1 inside Slot G (x y), and the light L2 which carried out incidence to the field S2 of the exterior of Slot G (x y), predetermined phase contrast will arise and this phase contrast will be decided according to the depth G2 of Slot G (x y). If only injection light then, obtained among the light which carried out incidence on the top face of the physical cel C (x y) based on the incident light to the field S1 inside Slot G (x y) is made to deal with it as a injection light effective in playback of the body image 10 (if another word is carried out) If only light L1 is dealt with as a injection light effective in playback of an image, it will mean that the injection light L1 effective in playback of an image had received the phase modulation by the specific phase corresponding to the depth G2 of Slot G (x y) in this physical cel C (x y) in drawing 9 or drawing 10 . In this way, the information on the phase of body light is recordable as the depth G2 of Slot G (x y).

[0058] Moreover, if only injection light obtained based on the incident light to the field S1 inside Slot G (x y) is made to deal with it as a injection light effective in playback of the body image 10 as

mentioned above, the information on the amplitude of body light is recordable as width of face G1 of Slot G (x y). Because, the more the width of face G1 of Slot G (x y) becomes large, the more it is for the area of the field S1 inside Slot G (x y) to also become large, and for its rate of an injection light effective in playback of the body image 10 to increase. That is, since the meaningful phase component is not contained in the injection light L2 shown in drawing 9 or drawing 10 at all, even if these injection light L2 is observed in a view location at the time of playback, it will only be observed as the so-called noise component of the background, and will not be recognized as an effective light which reproduces a meaningful image. On the other hand, since the meaningful phase component is contained in the injection light L1, it will be observed as a signal component effective in playback of an image. After all, the width of face G1 of Slot G (x y) will be called the element which determines the rate of the light L1 observed as a signal component of the light injected from the physical cel C concerned (x y), and becomes the parameter which gives the information on the amplitude of a signal wave.

[0059] But generally, the information on the amplitude is not necessarily expressed by the width of face G1 of Slot G (x y), and will be expressed by the area of the field S1 inside Slot G (x y). Although the area of the field S1 inside Slot G (x y) is proportional to the die length of width of face G1 since in the case of the operation gestalt shown in drawing 8 depth dimension G3 of Slot G (x y) has set up by chance so that it may become always equal to the depth dimension C3 of the physical cel C (x y) It is not necessary to necessarily make regularity depth dimension G3 of Slot G (x y), it changes both width method and depth dimension, and you may make it give a variation to the area of the field S1 inside Slot G (x y).

[0060] Thus, when only the depth (depth equivalent to the dimension G2 of drawing 8 ) according to a specific phase investigates the part (part equivalent to the field S1 of drawing 8 ) which had the area according to the specific amplitude among the top faces of the physical cel of the letter of a block If a crevice (slot G (x y)) is formed, a physical cel with such structure will enable it to perform the amplitude modulation according to the specific amplitude, and the phase modulation according to a specific phase to the illumination light for playback. But even if it forms heights instead of forming a crevice in the physical cel of the letter of a block, the same modulation processing is possible. That is, in the physical block shown in drawing 8 , even if it sets a dimension G2 as a negative value and forms a height instead of a slot, the optical path difference according to the height of this height can be produced, and phase contrast can be produced. If heights are formed when only the height according to a specific phase will upheave the part which had the area according to the specific amplitude among the top faces of the physical cel of the letter of a block, if another word is carried out, a physical cel with such structure will also enable it to perform the amplitude modulation according to the specific amplitude, and the phase modulation according to a specific phase to the illumination light for playback.

[0061] Since the width of face G1 and the depth G2 of a slot can be continuously changed in the physical cel C (x y) with the slot G (x y) as shown in drawing 8 , theoretically, it is possible to prepare the physical cel of an infinity class. If the physical cel of such an infinity class is used, it is possible to replace the virtual cel concerned by the physical cel which had the exact flute width G1 according to the specific amplitude defined as the virtual cel, and had the exact depth G2 according to a specific phase. However, practically, a kinds of flute widths and b kinds of depth are defined beforehand, a total of axb kinds of physical cels are prepared, and it is desirable that the optical property needed out of these physical cels chooses the nearest physical cel. Drawing 11 is the perspective view showing the example which defined seven kinds of flute widths, and four kinds of depths, and prepared a total of 28 kinds of physical cels. 28 kinds of these physical cels [ each of ] is physical cels of the letter of a block which carried out the gestalt shown in drawing 8 , and the condition of having arranged these physical

cells in the shape of [ of four line seven trains ] a matrix is shown in drawing 11 .

[0062] Seven trains of the matrix shown in this drawing 11 show the variation of the amplitude A, and four lines show the variation of a phase theta. For example, the cell located in a train W1 is a cell corresponding to the minimum value of the amplitude A, and has become flute width  $G1=0$ , i.e., the cell in which Slot G is not formed at all. It is a cell corresponding to the bigger amplitude A, and the flute width G1 has spread gradually as it moves to trains W2-W7 to right-hand side. The cell located in a train W7 is a cell corresponding to the maximum of the amplitude A, and has become the flute width  $G1 = \text{cell size } C1$ , i.e., the cell in which the whole surface was dug. Moreover, if its attention is paid to the line of the matrix shown in this drawing 11 , the cell located in a line V1 is a cell corresponding to the minimum value of a phase theta, and has become tooth depth  $G2=0$ , i.e., the cell in which Slot G is not formed at all, for example. It is a cell corresponding to the bigger phase theta, and the tooth depth G2 is large gradually as it moves to lines V2-V4 with the down side.

[0063] \*\*4. the creation approach of the optical element using a practical physical cell -- here, describe the concrete approach of creating the optical element (hologram record medium) on which the body image 10 was recorded using 28 kinds of physical cells as shown in drawing 11 . First, using a computer, as shown in drawing 5 , the three-dimensions virtual cell set 30 is defined as the body image 10 which consists of a set of the point light source. Here, each virtual cell which constitutes the three-dimensions virtual cell set 30 is a cell (at this event, the slot is not formed yet) of the letter of a block as shown in drawing 8 , and forms the three-dimensions virtual cell set 30 by carrying out the two-dimensional array of this cell in pitches [ every direction ]. The dimension of one virtual cell can arrange [ the pitch of the longitudinal direction of a cell ] 0.25 micrometers, then a cell for the pitch of 0.6 micrometers and a lengthwise direction without a clearance in this case that what is necessary is to just be referred to as  $1 = 0.6$  micrometers of C,  $2 = 0.25$  micrometers of C, and about  $3 = 0.25$  micrometers of C. Of course, the dimension value of each cell introduced here is an example, and can be actually set as the dimension of arbitration if needed. However, the more a cell dimension becomes large, the angle of visibility from which an objective reconstruction image is acquired becomes narrow, and, the more objective resolution will also fall. On the contrary, as a cell dimension becomes small, processing for forming the concavo-convex structure of a physical cell becomes more difficult technically. In addition, although it is not necessary to necessarily perform cell arrangement in a \*\* pitch, when the facilities of processing of data processing and a physical cell are taken into consideration, it is desirable to arrange a cell in pitches, such as predetermined, length and horizontally, respectively.

[0064] In this way, if the definition of the body image 10 and the three-dimensions virtual cell set 30 is completed, a representation point is defined in each virtual cell, as Section2 described, the complex amplitude of the synthetic wave of each body light which arrived at each representation point location will be calculated, and the specific amplitude and a specific phase will be defined about each virtual cell. Then, it transposes to either of 28 kinds of physical cells which show each virtual cell to drawing 11 (the optical property needed in order to perform the modulation according to the specific amplitude and the specific phase which are defined as each virtual cell transposes to the nearest physical cell), and the optical element as a set of a physical cell is created. It is made for the slot forming face (for it to be a top face in the case of the physical cell shown in drawing 8 or drawing 11 ) of each physical cell to turn to the front-face (field which faced body image 10) side of the three-dimensions virtual cell set 30 shown in drawing 5 at this time.

[0065] But the activity which transposes a virtual cell to a physical cell is actually done as processing which forms concavo-convex predetermined structure in the medium front face which should serve as an optical element. Since a physical cell will be arranged so that a slot may turn to a front-face side in case each virtual cell of the three-dimensions virtual cell set 30 shown in drawing 5 is transposed to a

physical cel, as mentioned above, the optical element created eventually serves as a medium by which the concavo-convex structure which consists of many slots was formed in the front face. Therefore, from the computer which has memorized the information on each virtual cel (information which shows the specific amplitude and the specific phase which were defined as each virtual cel), the activity which transposes a virtual cel to a physical cel will give the data about a concavo-convex pattern to drawing equipment, and will be performed as processing which draws a concavo-convex pattern on a physical medium front face with this drawing equipment. Processing which draws a detailed concavo-convex pattern can be performed using the patterning technique which used for example, electron-beam-lithography equipment etc. Moreover, what is necessary is to create the original edition with which desired concavo-convex structure was formed by drawing processing which used electron-beam-lithography equipment etc., and just to imprint concavo-convex structure on many media according to the stamp process using this original edition, in mass-producing the same optical element.

[0066] In addition, although the optical element concerning this invention is constituted by the body layer obtained by arranging a physical cel as shown in drawing 8 two-dimensional, you may make it form a protective layer in the front face of this body layer fundamentally if needed. This protective layer achieves a wrap duty for the concavo-convex field formed in the front face of a body layer. A body layer and a protective layer consist of mutually different construction material.

[0067] In the case of the optical element of a transparency mold with which the incident light given to each physical cel turns into injection light by passing a body layer and a protective layer, a body layer and a protective layer need to consist of translucency ingredients with a mutually different refractive index. Here, the concrete relation between the depth of the slot G in the case of creating the optical element (physical cel of a transparency mold) of the transparency mold which consists of the two-layer structure of such a body layer and a protective layer, and a phase is considered.

[0068] Now, the case of the transparency mold cel C with structure as shown in the sectional view of the upper case of drawing 12 (x y) is considered. This cel is the protective layer Cb formed in them as filled Slot G on the body layer calcium in which the slot G of depth d (x y) is formed, and its top face, and a cel with the two-layer structure of \*\*. the refractive index of the ingredient which sets to n1 the refractive index (refractive index of the matter which constitutes the matter or heights with which the crevice was filled up if another word is carried out) of the ingredient which forms a protective layer Cb here, and forms the body layer calcium -- n2 -- then Maximum depth (maximum depth [ of a crevice ], or maximum height of heights) dmax of Slot G If it is set as  $d_{\max} = \lambda / |n_1 - n_2|$ , the physical cel which can perform the phase modulation of within the limits to  $0-2\pi$  is realizable to the light of wavelength  $\lambda$ . For example, it considers as the wavelength of  $\lambda = 400\text{nm}$ , and if it was difference  $|n_1 - n_2| = 2$  of a refractive index, what is necessary will be just to set it as  $d_{\max} = 200\text{nm}$  (0.2 micrometers).

[0069] In this case, depth d (x y) according to the specific phase  $\theta$  (x y) it is shown in drawing 12 -- as -- the case of  $n_1 > n_2$  --  $d(x, y) = \lambda - \theta(x, y) / 2(n_1 - n_2) \pi$  -- a formula -- it can be found --  $n_1 > n_2$  -- the case of  $n_2 > n_1$  --  $d(x, y) = d_{\max} - \lambda - \theta(x, y) / 2(n_2 - n_1) \pi$  -- it can be found by the formula. Therefore, if the specific amplitude about one certain virtual cel C (x y) and a specific phase can be found with A (x y) and  $\theta$  (x y), respectively, the specific phase  $\theta$  (x y) will be substituted for an above-mentioned formula. Out of 28 kinds of physical cels which ask for corresponding depth d (x y) by count, and are shown in drawing 1111 What is necessary is just to do the activity replaced with the physical cel which chose the physical cel which has the depth nearest to depth d (x y) for which it asked by count, and has the breadth nearest to the dimension according to the specific amplitude A (x y), and chose the virtual cel C concerned (x y). In addition, what is necessary is just to use the refractive index (about 1) of air as a refractive index n1 of a protective layer, when a protective layer

Cb is not formed.

[0070] I will consider the case of the reflective mold cel C (x y) which, on the other hand, had structure as shown in the sectional view of the upper case of drawing 13 . Although this cel is a cel with the two-layer structure of body layer Calpha in which the slot G of depth d (x y) is formed, protective layer Cbeta formed in it as filled Slot G on that top face, and \*\* It will reflect in this reflector and the incident light by which the boundary of body layer Calpha and protective layer Cbeta serves as a reflector, it went caudad from the upper part of drawing, and close came to protective layer Cbeta will be injected towards the upper part of drawing. the refractive index (refractive index of the matter which constitutes the matter or heights with which the crevice was filled up if another word is carried out) of the ingredient which forms protective layer Cbeta here -- n -- then Maximum depth (maximum depth [ of a crevice ], or maximum height of heights) dmax of Slot G If it is set as  $d_{\max} = \lambda / 2n$ , the physical cel which can perform the phase modulation of within the limits to  $0-2\pi$  is realizable to the light of wavelength  $\lambda$ . For example, it considers as the wavelength of  $\lambda = 400\text{nm}$ , and if it was a refractive index  $n = 2$ , what is necessary will be just to set it as  $d_{\max} = 100\text{nm}$  (0.1 micrometers).

[0071] In this case, depth d (x y) according to the specific phase  $\theta$  (x y) can be found by the formula  $4n\pi [ d(x y) = \lambda - \theta(x y) / ]$  Becoming, as shown in drawing 13 . Since what is necessary is just to use the refractive index (about 1) of air as a refractive index n of a protective layer when protective layer Cbeta is not prepared, it sets up with maximum depth:  $d_{\max} = \lambda / 2$  of Slot G, and depth d (x y) according to the specific phase  $\theta$  (x y) should just be taken as  $d(x y) = (\lambda - \theta(x y)) / 4\pi$ .

[0072] \*\*5. the modification in consideration of the facilities of a playback environment -- here, apply the illumination light for playback to the optical element created by the approach described so far, and consider the environment which reproduces the body image 10 currently recorded as a hologram. Drawing 1414 is a side elevation showing relation with View E with the optical element 40 (hologram record medium using a physical cel) in the case of performing such playback, and the illumination light Lt or Lr for playback. In the transparency mold type case using a transparency mold cel, an optical element 40 The passage of a graphic display, Will irradiate the illumination light Lt for playback with View E in the field of an opposite hand, and the light which has penetrated the optical element 40 will be observed in View E. In the reflective mold type case using a reflective mold cel, as a graphic display, an optical element 40 will irradiate the illumination light Lr for playback in the field of the same side as View E, and will observe the light reflected from the optical element 40 in View E. Anyway, when an optical element 40 is created by the approach described so far As the illumination light Lt or Lr for playback is given as a plane wave of the homogeneous light and it is shown in drawing 14 The illumination light Lt or Lr for playback is irradiated [ of the recording surface (two-dimensional-array side where the physical cel is arranged) of an optical element 40 ] from a normal (if another word is carried out). When the illumination light for playback is irradiated so that a wave front may become in parallel with the recording surface of an optical element 40, and an image is observed [ of a recording surface ] from a normal, the best reconstruction image will be acquired.

[0073] However, the actual playback environment of an optical element 40 where the body image 10 is recorded as a hologram does not necessarily turn into an ideal environment as shown in drawing 14 . Since a watcher's head is especially located in the location of View E in a reflective mold type case, even if it irradiates the illumination light Lr for playback from the direction shown in drawing 14 , a watcher's shadow is made at an optical element 40, and good playback cannot be performed. Therefore, as the illumination light Lt for playback or Lr is irradiated from across to the recording surface of an optical element 40 as a actual playback environment is shown in drawing 15 , and it is shown in drawing 16 whether a reconstruction image is observed in the view E located in the direction of a

normal [ whether a reconstruction image is observed in the view E which irradiates / of the recording surface of an optical element 40 / the illumination light  $L_t$  for playback, or  $L_r$  from a normal, and is located in the direction of slant, and ] Or also as for the direction of radiation of the illumination light  $L_t$  and  $L_r$  for playback, it is common that each observation direction from View E also becomes the format of setting up in the direction of slant.

[0074] In such a actual playback environment, in order to create the optical element 40 from which a good reconstruction image is acquired, in consideration of the sense of the illumination light irradiated at the time of playback, and the view location at the time of playback, what is necessary is just made to perform phase correction processing which adds correction to the specific phase by which each virtual cel was defined.

[0075] For example, as shown in drawing 17, the illumination light  $L_1$ - $L_4$  for playback is irradiated from across, and I will consider the case where the modulation of the amplitude and a phase is observed in the view E located in the direction of a normal in the carrier beam light  $LL_1$ - $LL_4$  ( light reproducing the wave front of the body light from the body image 10), by penetrating an optical element 40. Supposing the illumination light  $L_1$ - $L_4$  for playback presupposes that it is a monochrome plane wave with wavelength  $\lambda$  and irradiates such illumination light for playback from across at an optical element 40, when each point  $P_1$ - $P_4$  on an optical element 40 will be reached, the optical path difference has already arisen and the incident light in each point  $P_1$ - $P_4$  itself will already have produced phase contrast. For example, since the optical path length is long compared with the incident light to the location of a point  $P_1$  only in  $d_2$ ,  $d_3$ , and  $d_4$ , as for the incident light to the location of points  $P_2$ ,  $P_3$ , and  $P_4$ , only the part of this optical path difference will already have produced [ the incident light itself ] phase contrast. Then, what is necessary is just to perform processing which corrects each [ these ] specific phase according to a cel location, after asking for a specific phase by the approach which described each virtual cel until now, if it is the premise of "creating the optical element 40 from which a good reconstruction image is acquired in a playback environment as shown in this drawing 17 ." For example, about the cel which is in the location of a point  $P_2$  about the cel in the location of the point  $P_1$  of drawing 17 although it is correction needlessness, correction will be added to a specific phase so that the phase contrast produced according to the optical path difference  $d_2$  can be offset. Thus, if the correction to a specific phase is made and an optical element 40 is created, a good reconstruction image will be given by the light  $LL_1$ - $LL_4$  injected in the direction of View E.

[0076] the correction processing to such a specific phase be the same also about the case where the modulation of an amplitude and a phase be observe in the view E locate in the direction of slant in the carrier beam light  $LL_1$ - $LL_4$  ( light reproducing the wave front of the body light from the body image 10), by irradiate the illumination light  $L_1$ - $L_4$  for playback from a normal, and penetrate an optical element 40, as show in drawing 18 . That is, supposing the illumination light  $L_1$ - $L_4$  for playback presupposes that it is a monochrome plane wave with wavelength  $\lambda$  and irradiates such illumination light for playback from a normal at an optical element 40, when each point  $P_1$ - $P_4$  on an optical element 40 will be reached, the optical path difference was not produced at all, but the phase of the incident light in each point  $P_1$ - $P_4$  has gathered. However, in the optical path length until the injection light emitted from the location of each point  $P_1$ - $P_4$  arrives at View E, the difference has arisen, respectively, and when it observes in View E, phase contrast will arise. For example, since the optical path length is long compared with the injection light from the location of a point  $P_1$  only in  $d_2$ ,  $d_3$ , and  $d_4$ , as for the injection light from the location of points  $P_2$ ,  $P_3$ , and  $P_4$ , phase contrast will produce only the part of this optical path difference in the location of View E. Then, what is necessary is just to perform processing which corrects each [ these ] specific phase according to a cel location, after asking for a specific phase by the approach which described each virtual cel until now, if it is the

premise of "creating the optical element 40 from which a good reconstruction image is acquired in a playback environment as shown in this drawing 18 ." For example, about the cel which is in the location of a point P2 about the cel in the location of the point P1 of drawing 18 although it is correction needlessness, correction will be added to a specific phase so that the phase contrast produced according to the optical path difference  $d_2$  can be offset. Thus, if the correction to a specific phase is made and an optical element 40 is created, a good reconstruction image will be given by the light LL1-LL4 injected in the direction of View E.

[0077] As mentioned above, although the correction processing to a specific phase was explained about the optical element 40 of a transparency mold, even if it is the optical element 40 of a reflective mold, the principle of the correction processing is completely the same.

[0078] On the other hand, if the wavelength of the illumination light for playback is examined, in a actual playback environment, you may think that the cases where the homogeneous light of wavelength  $\lambda$  can be used as illumination light for playback are very rare, and are common. [ of the case where playback is usually performed under the near illumination light for playback white ] Thus, since a different phase modulation for every light of each wavelength will be performed when it reproduces using the illumination light for playback containing two or more wavelength components, a good reconstruction image is no longer acquired. A reconstruction image with which an image with various colors shifts little by little, and specifically lapped will be observed.

[0079] So, in order to acquire a to some extent good reconstruction image also in the playback environment using the white illumination light for playback, in case complex amplitude distribution of body light is calculated, what is necessary is just made to perform a device as shown in drawing 19 R> 9. The system shown in this drawing 19 R> 9 is for performing the operation which searches for distribution of the sum total complex amplitude of each body light which defines the body image 10 and the three-dimensions virtual cel set 30 on a computer, and is emitted from the body image 10 like the system shown in drawing 5 on the three-dimensions virtual cel set 30. Here, the three-dimensions virtual cel sets 30 are horizontal and a cel set which consists of a virtual cel which was constituted by arranging perpendicularly and was arranged on the 2-dimensional matrix about a virtual cel. The representation point is defined as each virtual cel, respectively.

[0080] When using the technique described here, count of the sum total complex amplitude in each representation point location is performed by the following approaches. First, each defines horizontally elongation and the point light source train of two or more  $M$  individuals arranged perpendicularly mutually on the body image 10. Three point light source trains  $m_1$ ,  $m_2$ , and  $m_3$  are defined as  $M=3$  by the example of a graphic display. Two or more point light sources horizontally located in a line, respectively are included in each point light source train. For example, the  $j$  point light sources  $O(1\ m\ 1)$ ,  $O(1\ m\ 2)$ , --,  $O(m_1\ j)$  are included in the point light source train  $m_1$ . A total of  $M$  groups are defined by making into one group the virtual cel group which belongs to the multi-line which adjoins perpendicularly in a 2-dimensional matrix in the three-dimensions virtual cel set 30 side on the other hand. A total of three groups are defined as  $M=3$  by the example of a graphic display. That is, the 1st group  $g_1$  consists of a virtual cel group which belongs to - of 1st line the 3rd line, the 2nd group  $g_2$  consists of a virtual cel group which belongs to - of 4th line the 6th line, and the 3rd group  $g_3$  consists of a virtual cel group which belongs to - of 7th line the 9th line.

[0081] Thus, when defining  $M$  point light source trains as the body image 10 side and defining  $M$  groups as the three-dimensions virtual cel set 30 side,  $M$  point light source trains and  $M$  groups are made to correspond according to the order of arrangement about a perpendicular direction. That is, make the top point light source train  $m_1$  correspond to the top group  $g_1$ , the central point light source train  $m_2$  is made to correspond to the central group  $g_2$ , and the bottom point light source train  $m_3$  is



made to correspond to the bottom group  $g_3$  in the case of the example of a graphic display. And the body light emitted from the point light source within the  $m$ -th point light source train ( $m=1-M$ ) calculates sum total complex amplitude in each representation point location as what reaches only the virtual cel which belongs to the  $m$ -th group. For example, the body light emitted from the point light sources  $O(1, m_1)$ ,  $O(1, m_2)$ , --,  $O(m_1, j)$  which belong to the point light source train  $m_1$  in drawing 19 In the virtual cel which shall reach only the virtual cel (virtual cel arranged by - of 1st line the 3rd line) which belongs to a group  $g_1$ , and belongs to a group  $g_2$  or  $g_3$ , it is made to calculate sum total complex amplitude as what not reaching. If it puts in another way, only in consideration of the body light by which count of the sum total complex amplitude in the representation point location of the virtual cel which belongs to a group  $g_1$  was emitted from the point light sources  $O(1, m_1)$ ,  $O(1, m_2)$ , --,  $O(m_1, j)$  which belong to the point light source train  $m_1$ , the body light emitted from the point light source which belongs to the point light source trains  $m_2$  and  $m_3$  will be taken into consideration.

[0082] If the body image 10 is recorded on such conditions in fact, record as an original hologram will no longer be performed. First of all, the basic principle of a hologram is to record all the information on the body image 10 on every location of a recording surface, and playback of a stereoscopic model is performed by performing such record. If the body image 10 is recorded on the conditions mentioned above, since only the information on the part (namely, a part of upper part of the body image 10) of the point light source train  $m_1$  will be recorded on a group's  $g_1$  field, the solid reconstruction image as an original hologram is no longer acquired. Although the stereoscopic vision specifically related horizontally becomes possible, the stereoscopic vision about a perpendicular direction becomes imperfection. However, if the body image 10 is recorded on such conditions, in the playback environment using the white illumination light for playback, a better reconstruction image (although the stereoscopic vision about a perpendicular direction is inadequate, it is a clearer reconstruction image) will come to be acquired. This is because the effectiveness which controls the wavelength dispersion of the playback light about the perpendicular direction at the time of playback is acquired by having divided and recorded the body image 10 for every part about the perpendicular direction.

[0083] As mentioned above, although explained based on some operation gestalten illustrating this invention, this invention is not limited to these operation gestalten, and can be carried out with various gestalten. For example, although the above-mentioned operation gestalt defines the three-dimensions virtual cel set 30 by arranging each three-dimensions cel in the shape of a 2-dimensional matrix, as shown in drawing 20, it is also possible by preparing a horizontally long and slender three-dimensions cel, and arranging such a three-dimensions cel in the shape of a single dimension matrix to define the three-dimensions virtual cel set 30. In the example shown in drawing 20, the three-dimensions virtual cel set 30 is formed by arranging the horizontally long and slender cels  $C(1)$ ,  $C(2)$ , and  $C(3)$  and -- perpendicularly. Thus, although only the reconstruction image in which only the stereoscopic vision about a perpendicular direction is possible will be acquired when the body image 10 is recorded on the optical element which consists of a cel arranged in the shape of a single dimension matrix, there is utility value of enough depending on an application.

[0084] The optical element concerning this invention of the ability to use for the application as a "hologram record medium" of recording a certain body image 10 as a hologram, and reproducing this as a stereoscopic model is natural. However, this invention is not necessarily limited to the application as such a hologram record medium, and also when manufacturing general optical elements, such as a light filter, a polarizing element, and a light modulation element, it can be used. For example, if complex amplitude distribution of the body light emitted from this pattern is recorded on a physical medium as a body image 10 using the pattern of a simple grid pattern, an optical element with a characteristic optical operation is realizable.

[0085] Moreover, it is also possible to make it the array which did not necessarily have to carry out arrangement of a three-dimensions cel to the array in alignment with a rectangular coordinate system, for example, met the spherical surface using the spherical coordinate system. Furthermore, although each three-dimensions physics cel used with the operation gestalt mentioned above was a cel as a passive element, the active component which can control a refractive index, permeability, a reflection factor, etc. based on the signal from the outside may constitute the physical cel used for this invention. For example, birefringence matter, such as liquid crystal, constitutes each physical cel, and if it enables it to control the rate of Tsunemitsu and abnormality light by the external signal, based on the signal given from the outside, the specific amplitude and the specific phase which each physical cel has can be determined. In the optical element using such an active component as a physical cel, since the recorded image is not necessarily being fixed physically, the body image of arbitration can be reproduced according to the signal from the outside.

[0086]

[Effect of the Invention] Since a body image is recorded not as an interference fringe but as complex amplitude distribution of body light as above according to this invention, high diffraction efficiency is acquired at the time of playback. And since complex amplitude distribution is recorded using the optical property of a three-dimensions cel, it can offer the optical element excellent in productivity.

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the perspective view showing the technique of the general holography which records a body image as an interference fringe optically using a reference beam.

[Drawing 2] When the point light source O and a recording surface 20 are defined, it is the perspective view showing the amplitude and phase of the body light which reached the representation point P on a recording surface 20 (x y).

[Drawing 3] The body light \*\*\*\*(ed) from each point light source on the body image 10 is the perspective view showing the complex amplitude of the body light in the location of the representation point P (x y) at the time of reaching the representation point P on a recording surface 20 (x y).

[Drawing 4] It is drawing showing that the amplitude A (x y) and a phase theta (x y) can be found based on the complex amplitude shown with the coordinate point Q on a complex coordinate plane.

[Drawing 5] It is the perspective view showing an example of the three-dimensions virtual cel set 30 defined in order to record the body image 10.

[Drawing 6] It is drawing showing the function of the amplitude modulation of the three-dimensions cel C (x y) used for this invention, and a phase modulation.

[Drawing 7] It is drawing showing an example of 16 kinds of physical cels from which the permeability and refractive index which should serve as a component of the optical element concerning this invention differ.

[Drawing 8] It is the perspective view showing an example of the structure of the physical cel C (x y) considered to be the the best for using for this invention.

[Drawing 9] It is a front view explaining the reason which is recorded as width of face G1 of information fang furrow G (x y) of the amplitude when using the physical cel C (x y) shown in drawing 8 as a transparency mold cel, and is recorded as the depth G2 of information fang furrow G (x y) of a phase.

[Drawing 10] It is a front view explaining the reason which is recorded as width of face G1 of information fang furrow G (x y) of the amplitude when using the physical cel C (x y) shown in

drawing 8 as a reflective mold cel, and is recorded as the depth G2 of information fang furrow G (x y) of a phase.

[Drawing 11] In the structure of the physical cel C (x y) shown in drawing 8 , it is the perspective view showing the example which defined seven kinds of flute widths, and four kinds of depths, and prepared a total of 28 kinds of physical cels.

[Drawing 12]It is drawing showing the relation between the refractive index of each part, and a tooth depth about the transparency mold cel C (x y).

[Drawing 13]It is drawing showing the relation between the refractive index of each part, and a tooth depth about the reflective mold cel C (x y).

[Drawing 14]It is the side elevation showing the fundamental gestalt which observes from a normal the body image which applies the illumination light for playback from a normal to the optical element concerning this invention, and is recorded as a hologram.

[Drawing 15]It is the side elevation showing the gestalt which observes from a normal the body image which applies the illumination light for playback from across to the optical element concerning this invention, and is recorded as a hologram.

[Drawing 16]It is the side elevation showing the gestalt which observes from across the body image which applies the illumination light for playback from a normal to the optical element concerning this invention, and is recorded as a hologram.

[Drawing 17] In order to create the optical element corresponding to the playback environment shown in drawing 15 , it is the side elevation showing the principle which performs correction processing of a specific phase.

[Drawing 18] In order to create the optical element corresponding to the playback environment shown in drawing 16 , it is the side elevation showing the principle which performs correction processing of a specific phase.

[Drawing 19]It is the perspective view showing the technique for creating the optical element corresponding to the playback environment using the white illumination light for playback.

[Drawing 20]It is the perspective view showing the example which arranged the three-dimensions cel in the shape of a single dimension matrix, and constituted the three-dimensions virtual cel set 30.

[Description of Notations]

10 -- Body image (body)

20 -- Recording surface (record medium)

30 -- Three-dimensions virtual cel set

40 -- Optical element

A, Ak, A (x y) -- Amplitude

Ain -- Amplitude of incident light

Aout -- Amplitude of injection light

C (x y) -- A virtual cel / physical cel

C (1), C (2), C (3) -- Long and slender cel

C1, C2, C3 -- Dimension of a cel

calcium -- Body layer

Cb -- Protective layer

Calpha -- Body layer

Cbeta -- Protective layer

d (x y) -- The depth of Slot G

dmax -- The maximum depth of Slot G

d2, d3, d4 -- Optical path difference

E -- View  
 G, G (x y) -- Slot formed in the cel  
 G1, G2, G3 -- Dimension of a slot  
 g1, g2, g3 -- Group of a cel  
 Ixy -- Imaginary part of complex amplitude  
 i -- Imaginary unit  
 Lin -- Incident light  
 Lout -- Injection light  
 Lt -- Illumination light for playback about a transparency mold optical element  
 Lr -- Illumination light for playback about a reflective mold optical element  
 L1-L4, LL1-LL4 -- Light  
 m1, m2, m3 -- Point light source train  
 n, n1-n4 -- Refractive index  
 O, O (1), O (k), O (k) -- Point light source  
 O (1 m 1), O (m1, j) -- The point light source on the point light source train m1  
 P (x y), P (x', y') -- Representation point  
 P1-P4 -- Point on an optical element  
 Q -- Coordinate point  
 R -- Reference beam  
 Rxy -- Real part of complex amplitude  
 r, r1, rk, rK -- Distance from the point light source  
 S1 -- Field inside Slot G (x y)  
 S2 -- Field of the exterior of Slot G (x y)  
 V1-V4 -- Line according to a phase theta  
 W1-W7 -- Train according to the amplitude A  
 theta, thetak, theta(x y) -- phase  
 thetain -- Phase of incident light  
 thetaout -- Phase of injection light  
 lambda -- Wavelength of light

---

[Translation done.]